

**AUS DER CHIRURGISCHEN KLINIK UND POLIKLINIK DER  
LUDWIG MAXIMILIANS UNIVERSITÄT MÜNCHEN**

Direktor: Prof. Dr. Wolf Mutschler

**Stabilisierende Chirurgische Therapie  
bei instabiler Charcot-Erkrankung  
des Rückfußes**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt  
von  
Alexandra Kurvin  
aus München

2010

**mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München**

**Berichterstatter: Prof. Dr. med. S. Keßler**

**Mitberichterstatter: PD Dr. med. Marcus Schmitt-Sody**

**Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h. c. M. Reiser,  
FACR, FRCR**

**Tag der mündlichen Prüfung: 01.07.2010**

<b>1</b>	<b><u>EINLEITUNG</u></b>	<b>4</b>
<b>1.1</b>	<b>BEGRIFFSBESTIMMUNG UND HISTORIE</b>	<b>7</b>
<b>1.2</b>	<b>DAS KRANKHEITSBILD</b>	<b>9</b>
<b>1.3</b>	<b>ÄTIOLOGIE / EPIDEMIOLOGIE</b>	<b>10</b>
<b>1.4</b>	<b>PATHOGENESE</b>	<b>11</b>
<b>1.5</b>	<b>DIE KLASSIFIKATION</b>	<b>14</b>
<b>1.6</b>	<b>PROBLEMSTELLUNG</b>	<b>20</b>
1.6.1	DIAGNOSTIK BEI CHARCOT OSTEOARTHROPATHIE	20
1.6.2	REKONSTRUKTIVE MAßNAHMEN BEIM NEUROPATHISCHEN FUß	26
1.6.3	BEGLEITERKRANKUNGEN BEIM CHARCOTFUß	28
<b>1.7</b>	<b>ZIEL DER STUDIE</b>	<b>34</b>
<b>2</b>	<b><u>MATERIAL UND METHODEN</u></b>	<b>35</b>
<b>2.1</b>	<b>UNTERSUCHUNGSMATERIAL</b>	<b>35</b>
<b>2.2</b>	<b>UNTERSUCHUNGSMETHODEN</b>	<b>35</b>
<b>2.3</b>	<b>DIE OPERATIONSTECHNIKEN</b>	<b>36</b>
2.3.1	SCHRAUBENARTHRODESEN	38
2.3.2	VERRIEGELUNGSARTHRODESEN	39
2.3.3	PLATTENARTHRODESEN	40
2.3.4	EXTERNE FIXATION	41
<b>2.4</b>	<b>DIE NACHBEHANDLUNG</b>	<b>42</b>
<b>3</b>	<b><u>ERGEBNISSE</u></b>	<b>43</b>
<b>4</b>	<b><u>DISKUSSION</u></b>	<b>55</b>
<b>4.1</b>	<b>DIE KLINISCHE RELEVANZ DER KLASSIFIKATIONSSYSTEME</b>	<b>56</b>
<b>4.2</b>	<b>BETRACHTUNG DER UNTERSCHIEDLICHEN TECHNIKEN</b>	<b>63</b>
4.2.1	BEOBSACHTUNGEN BEI DER SCHRAUBENARTHRODESE	63
4.2.2	BEOBSACHTUNGEN BEI DER VERRIEGELUNGSARTHRODESE	64
4.2.3	BEOBSACHTUNGEN BEI DER PLATTENARTHRODESE	65
4.2.4	BEOBSACHTUNGEN BEIM FIXATEUR EXTERNE	67
4.2.5	BETRACHTUNG VON ERST- UND FOLGETECHNIKEN	67
<b>4.3</b>	<b>THERAPEUTISCHE GRUNDSÄTZE</b>	<b>69</b>
<b>4.4</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNG</b>	<b>74</b>
<b>5</b>	<b><u>ZUSAMMENFASSUNG</u></b>	<b>76</b>
<b>6</b>	<b><u>LITERATURVERZEICHNIS</u></b>	<b>78</b>
<b>7</b>	<b><u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</u></b>	<b>86</b>
<b>8</b>	<b><u>TABELLENVERZEICHNIS</u></b>	<b>87</b>
<b>9</b>	<b><u>DANKSAGUNG</u></b>	<b>88</b>
<b>10</b>	<b><u>LEBENS LAUF</u></b>	<b>89</b>

## 1 Einleitung

Die neuropathische Osteoarthropathie ist eine chronisch fortschreitende Erkrankung auf der Grundlage einer Beeinträchtigung der peripheren Nervenbahnen, deren eigentliche Ursache und Auslöser bis heute unbekannt sind. Durch die Störung von Schmerzwahrnehmung und Lagesinn entstehen vom Patienten unbemerkt Fehlstellungen vor allem der unteren Extremitäten, die zum Teil groteske Ausmaße annehmen können [83]. Häufig entsteht die Erkrankung auf dem Boden von Diabetes, Syphilis, Syringomyelie oder Alkoholabusus [107, 117, 12, 2], wobei der Diabetes mellitus in den Industrienationen die Hauptursache darstellt. Die Inzidenz der diabetisch neuropathischen Arthropathie (DNOAP) liegt bei ca. 0,3 % pro Jahr, die Prävalenz beträgt in spezialisierten Fußbehandlungseinrichtungen ca. 13 %. Eine DNOAP tritt bei 5.9% bis zu 39.3% der Patienten bilateral auf (Abb. 1) [134].



**Abb. 1: Beidseitige Rückfußinstabilität bei neuropathischer Osteoarthropathie**

Die Problematik bei der Behandlung des neuropathisch-osteoarthropathischen Fußsyndroms ist vielschichtig. Alleine das Erkennen der Erkrankung stellt in der Anfangsphase eine Problematik dar, auch bei der Diagnostik besteht noch keine Einigkeit. Zunächst ist die Therapie konservativ. Bei ausbleibendem Therapieerfolg,

nach Ausreizung aller konservativen Maßnahmen, besteht ein Konsens für die Indikation zur operativen, chirurgischen Intervention mit Korrektur der Charcot-Deformität [80, 9, 121].

Die DNOAP stellt mit und ohne Infektion ein schwerwiegendes Behandlungsproblem dar. Die fortschreitenden Skelettdestruktionen mit rezidivierenden Ulzera erschweren die Therapie und verschlechtern die Prognose des Extremitätenerhaltes.

Die Studienlage bei der Versorgung der operationswürdigen Charcotarthropathie zeigt jedoch noch keine Einigkeit in der operativen Therapie [4]. Die Optionen müssen gründlich abgewogen und mit dem Patienten erörtert werden, denn die Therapie kann langwierig und komplikationsträchtig sein und auch in einer Amputation enden [103, 93, 111, 9].

Neben erschwerten operativen Bedingungen (ödematöses Gewebe, massiv veränderte Anatomie, Durchblutungsstörungen, mangelnde Compliance durch Verlust der Sensibilität) sind viele Patienten durch den langjährigen Diabetes sehr krank und negieren die Problematik.

Das Hauptziel der operativen Therapie beim DNOAP ist der Extremitätenerhalt (Papa, 1993) durch die Bildung eines stabilen, plantigraden Fußes (Zgonis 2007). Es konnte bereits in der Vergangenheit gezeigt werden, dass bei mehr als 90% der Patienten die Extremität erhalten werden konnte. (Papa, 1993). Auch im deutschen Sprachbereich wurde bereits berichtet (Koller 2004), dass >95% der Extremitäten in einer Spezialklinik erhalten werden können. Die Komplikationsrate der operativen Therapie bei der DNOAP ist nicht niedrig und liegt zwischen 10,8% und 20% (Koller et al 2004; Kessler et al. 1999).

Derzeit liegen nur wenige vergleichende Studien vor, die sich mit den verschiedenen Techniken der operativen Versorgung befassen. Die geringe Fallzahlen der Arbeiten in der Literatur und die ungleiche prä- und postoperative Klassifikation von Ort und Ausprägung der Erkrankung machten einen Vergleich der bisher eingesetzten Techniken nahezu unmöglich [98, 116, 91, 132, 27, 25, 123, 94, 67, 56, 106, 82, 87, 76, 58].

Bisher werden folgende Techniken zum Versuch der Rückfußstabilisierung

angewandt:

1. Die Schraubenarthrodese, welche die Möglichkeit der freien Positionierung hat und häufig Anwendung findet. [25, 27, 52, 56, 65, 72, 104].
2. Die Marknagel-Verriegelungsarthrodese des Rückfußes wird seit einigen Jahren auch bei der Charcot-Arthropathien angewendet mit guten Erfolgen [98].
3. Die Effektivität der Plattenarthrodese wurde in verschiedenen Studien belegt [58, 82, 1, 89]. Die Anwendung bei der infizierten Charcot-Osteoarthropathie stellt eine Limitation dar.
4. Der Fixateur externe wird in verschiedenen Ausführungen angewendet. Die Indikation für den klassischen Fixateur externe ergibt sich aktuell vor allem bei infizierten Situationen mit ausgeprägter Instabilität. Mitunter wird der Fixateur zur Stabilisierung interner Fixationsvorrichtungen angewendet [104].

Diese bei nicht neuropathischer Ausgangssituation etablierten Verfahren kamen auch in der vorliegenden Studie zum Einsatz. Unklar ist, welches der Verfahren unter verschiedenen Ausgangsbedingungen die beste Durchbauungs- und Heilungsrate aufweist.

Ziel dieser Studie war es daher, einerseits zu klären, welches der Verfahren unter welchen Umständen in der Lage ist, ein gutes Ergebnis zu erzielen und andererseits Umstände aufzuzeigen, die mit einer erhöhten Komplikationsrate einhergehen. Erstmals werden in dieser Studie Patienten mit unterschiedlichsten Weichteilverhältnissen einbezogen, um zu klären, ob die Ausgangssituation eine entscheidende Rolle spielt. Des Weiteren sollte geklärt werden, ob es ein Klassifikationssystem gibt, auf dessen Grundlage das wahrscheinliche Ergebnis einer Operation vorhergesagt werden kann.

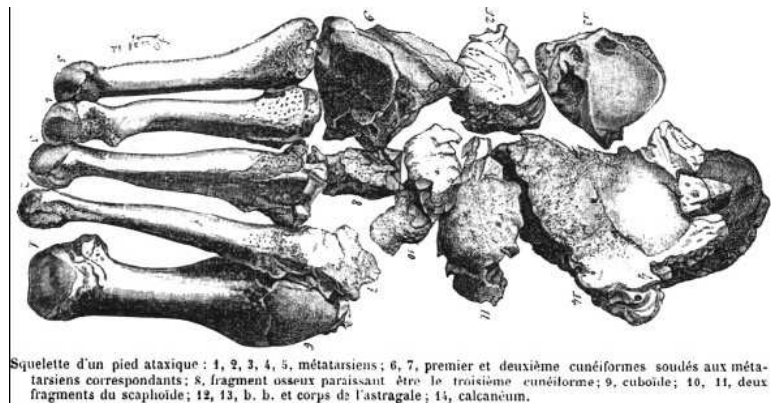
## 1.1 Begriffsbestimmung und Historie

Die neuropathische Osteoarthropathie ist eine chronisch fortschreitende Erkrankung auf der Grundlage einer Beeinträchtigung der peripheren Nervenbahnen, deren eigentliche Ursache und Auslöser bis heute unbekannt sind. Durch die Störung von Schmerzwahrnehmung und Lagesinn entstehen vom Patienten unbemerkt Fehlstellungen vor allem der unteren Extremitäten, die zum Teil groteske Ausmaße annehmen können [83]. Häufig entsteht die Erkrankung auf dem Boden von Diabetes, Syphilis, Syringomyelie oder Alkoholabusus [107, 117, 12, 2].

Durch die sehr unterschiedliche Ausprägung der Erkrankung und den oft schleichen- den Beginn werden die Frühsymptome mit Ödem des Knochens und der umgeben- den Weichteile häufig übersehen, so dass sich im Verlauf Osteolysen und Frakturie- rung von Knochen ausbilden. Hierdurch kommt es zum Spätstadium, bei dem regel- haft Gelenkfehlstellung auftreten und es durch Druckbelastung zu tiefen Hautläsio- nen kommen kann.

Bis zum Anfang des 19. Jahrhunderts war man aufgrund der Ähnlichkeit der Symptome mit bekannten entzündlichen Arthritiden stets von einer rheumatischen Genese ausgegangen. Die ersten Vermutungen über einen Zusammenhang von Gelenkdestruktionen und Nervenschädigung wurden von Vater und Sohn Mitchell (J.K. Mitchell 1798 – 1858 und S. W. Mitchell 1829 - 1914) angestellt. Sie beschrieben an ihren Patienten fortschreitende Gelenkzerstörung von Knie und Fußgelenken in Folge von spinaler Tuberkulose [78] [77] und als Folge von Verletzungen der Nervenbahnen bei Soldaten des Amerikanischen Bürgerkrieges.

Aber erst J.M. Charcot (1825 - 1893), dem die Theorien Mitchells bekannt waren und der sich schon in seiner Promotion 1853 mit den Veränderungen der Gelenke auseinandersetzte, gelang es 1881 auf dem 7. internationalen Medizinkongress in London durch eine brillante, multimediale Präsentation, den Symptomenkomplex dauerhaft als eigene Krankheitseinheit zu festigen, was zur Folge hatte, dass die Krankheit fürderhin seinen Namen trug [23] [74] (Abb. 2).



**Abb. 2: Originalzeichnung von JM Charcot von 1883 [22]**

Zur Zeit der Mitchells und Charcots war die Erkrankung selten, da sie in nur wenigen Fällen angeboren auftrat und die Patienten mit neurodegenerativen Infektionskrankheiten wie Tuberkulose oder Syphilis nur selten alt genug wurden, um Langzeitschäden zu entwickeln. Mit der Entdeckung der Antibiotika gingen die Fallzahlen dann zunächst noch weiter zurück, so dass bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts nur wenige Einzelfallbeschreibungen veröffentlicht wurden [28] [95].

Während die Mitchells und Charcot die Diabetiker als Risikogruppe noch in keiner Weise erwogen, haben sich diese durch die flächendeckende Langzeitanwendung von Insulin inzwischen zur größten Patientengruppe entwickelt [68]. Ein Viertel der Langzeitdiabetiker zeigt nach etwa 15 Jahren eine ausgeprägte Neuropathie und bis zu 10% der Neuropathiker entwickeln ein diabetisches-neuropathisches Fußsyndrom mit osteoarthropathischen Veränderungen, dessen Behandlung eine große Herausforderung darstellt [92, 100, 80]. Dabei können die anfänglichen Veränderungen häufig mit orthopädischen Maßnahmen (Einlagen, angepasste Schuhe) kontrolliert werden. Sobald es aber zu Instabilitäten kommt, müssen orthetische Maßnahmen erwogen werden.

Neuere Untersuchungen kommen aber zunehmend darin überein, dass es günstig ist, chirurgische Korrekturmaßnahmen bereits durchzuführen, bevor es zu wiederholten Ulzerationen oder gar Infektionen gekommen ist. Die Behandlung hat dabei stets die Sanierung von Ulzera und die dauerhafte Korrektur von Malformationen und Instabilitäten im Auge [44, 83, 67].

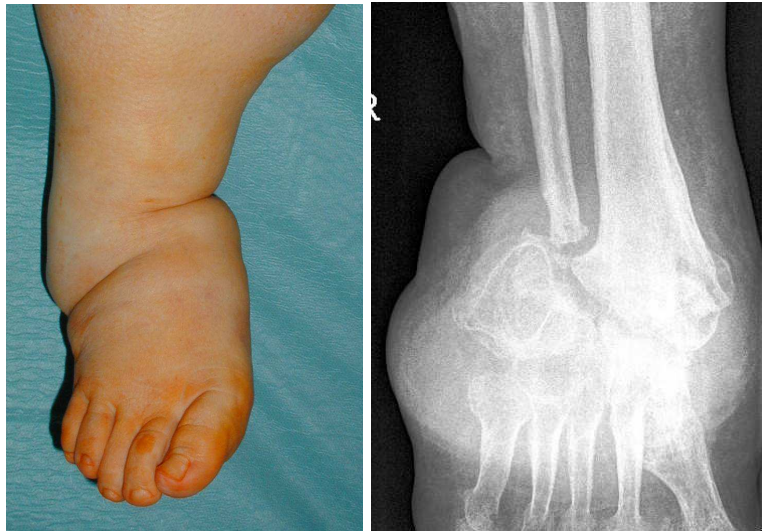


## 1.2 Das Krankheitsbild

Die äußerlichen Zeichen der Charcot-Erkrankung sind sehr unterschiedlich. Die Charcot Erkrankung durchläuft grundsätzlich 3 Stadien, die nicht immer apparent sind und nicht immer erkannt werden. Im ersten Stadium zeigt sich eine Hyperaktivierung aller Gewebe mit spontaner Entmineralisierung des Knochens, welche klinisch die Symptome einer akuten Inflammation, mit Tumor, Rubor und Calor aufweisen. Aufgrund der eingeschränkten oder aufgehobenen Schmerzwahrnehmung belasten die Patienten die Extremität allerdings weiter voll. Sofern die Erkrankung erkannt und der Patient zu Beginn des Primärstadiums immobilisiert wird, kann es nach Abklingen der Symptome zu einer restitutio ad integrum kommen.

In der zweiten Erkrankungsphase ist das entkalkte Knochengewebe der dauerhaften Belastung nicht gewachsen, es kommt zunächst zu Mikrofrakturen entlang der Gelenkflächen und bei fortgesetzter Belastung zur kompletten Zerstörung von Knochen.

Die dritte Phase der Charcot Erkrankung ist durch die spontane Remineralisierung der betroffenen Skelettanteile gekennzeichnet. Das äußere Erscheinungsbild wird nun gefestigt. Sofern in der zweiten Phase keine ausgeprägte Destruktion stattgefunden hat, kann eine gute Funktion wieder erreicht werden. Eingetretene Schäden und Instabilitäten sind dagegen nicht reversibel [118].



**Abb. 3: Irreversible Charcot Veränderungen des Rückfußes**

### 1.3 Ätiologie / Epidemiologie

Die Ursache der Charcot Erkrankung ist bis heute nicht geklärt. Die Ursachenforschung wird erschwert durch die Heterogenität der Erkrankungen, die osteoarthropathische Veränderungen herbeiführen können. Allen gemeinsam ist dabei die herabgesetzte oder ausgefallene periphere Sensibilität der unteren Extremität und die fortgesetzte Belastung.

Während in vielen Publikationen als Ursachen für die neuropathische Osteoarthropathie chronischer Alkoholabusus, Syphilis, Lepra, angeborene Sensibilitätsstörungen, Myelomenigozelen, terminale Niereninsuffizienz, Syringomyelie und periphere und zentrale Nervenverletzung genannt werden, tritt die Relevanz all dieser Erkrankungen - was die Fallzahl betrifft - immer mehr zurück. Die größte Gruppe der Betroffenen stellen die Langzeitdiabetiker [36, 111, 115, 36, 62, 24, 12, 63].

Genaue Zahlen liegen derzeit nur aus den USA vor, wo von einer Prävalenz des Diabetes Mellitus Typ 2 von bis zu 7% ausgegangen wird. Man glaubt, dass im Augenblick nur die ersten Vorboten einer großen Welle von neuropathischen Osteoarthropathien gesehen werden, da durch die verbesserten Insuline, die

strengerer Vorgaben und die bessere Patientenschulung die Lebenserwartung der Diabetiker und damit auch die Langzeitschäden deutlich zunehmen [42].

Dieser Trend ist auch in Europa zu beobachten, wo je nach Studie von einer Verdoppelung der Fallzahlen seit den 80er Jahren ausgegangen wird und damit von Prävalenzen zwischen 5,3 und 10,9 Prozent [127, 43]. Etwa die Hälfte der Diabetiker entwickelt eine Neuropathie. Ungeklärt ist, warum das diabetische Fußsyndrom lediglich bei ca. 10% und eine Osteoarthropathie nur bei 0,2 bis 2,5% der Patienten auftritt [16, 83, 111]. Wann und ob eine Osteoarthropathie auftritt ist mit dem derzeitigen Wissenstand nicht vorherzusagen. Da die Latenz bis zu 15 Jahre betragen kann, ist eine engmaschige Überwachung schwierig [83, 110, 112].

Der Mittelfuß ist bei zwei Drittel der Fälle betroffen, bei einem Viertel der Erkrankten ist die Hauptmanifestation im Rückfuß und bei 10-15% liegen die Charcot Läsionen im Sprunggelenk und proximal [15, 97]. Beidseitiges Auftreten hat eine Wahrscheinlichkeit von 30% [2, 81]. Männer und Frauen sind gleich häufig betroffen [118].

Aufgrund der Unvertrautheit mit dem Krankheitsbild sind derzeit wahrscheinlich noch viele Erkrankungsfälle unentdeckt oder fehl diagnostiziert [80, 110, 111, 112].

## **1.4 Pathogenese**

Ebenso wie der Auslöser ist auch der Pathomechanismus der Charcot Erkrankung nicht erklärt [110]. In der Folge der Publikationen der Mitchells und Charcot wurden viele Jahre zwei Haupttheorien diskutiert: die neurovaskuläre und die neurotraumatische Theorie. Neue Forschungsergebnisse vor allem auf molekularer Grundlage verdichten zwar die Verdachtsmomente, können aber weiterhin keine umfassende Erklärung bieten.

### **Neuro-vaskuläre Faktoren**

Die Erstbeschreiber Mitchell und Charcot vertaten die Ansicht, dass es durch die Schädigung der Nervenbahnen zu einer stärkeren Perfusion der abhängigen Bereiche komme und somit der Knochen geradezu ausgewaschen werde [114]. Der weiche Knochen gebe dann unter der fortgesetzten Last nach [17, 95].

Zweifel an dieser Theorie bildeten durch die Beobachtung, dass diese Abbauvorgänge aus unerklärlichen Gründen auf einzelne Knochen beschränkt blieben, während andere, die im gleichen Perfusionsgebiet liegen, gänzlich unbeeinträchtigt blieben [37, 130].

Allerdings scheint die Perfusion nicht völlig unbeteiligt zu sein, da das Vorliegen einer peripheren arteriellen Verschlusskrankheit mitunter als protektiver Faktor für die neuropathische Osteoarthropathie beschrieben wurde [100].

### **Neuro-traumatische Faktoren**

Volkman und Virchow entwickelten einen rein mechanischen Ansatz. Sie gingen davon aus, dass die ununterbrochene Traumatisierung der Knochen das Gefüge der Gelenke schädige und es dadurch zur Zerstörung von Skelettanteilen komme [81, 95, 110].

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts versuchte man, Modelle zur Untermauerung dieser Hypothese zu entwickeln. In Tierversuchen (Katze) konnten charcotartige Veränderungen ebenso durch gezielte Rückenmarkstraumatisierung wie durch direkte Gelenktraumata ausgelöst werden. Die Veränderungen zeigten sich bei Läsion des Rückenmarks jedoch erst nach Jahren, während nach direktem Trauma wenige Wochen zu den Veränderungen führten [39]. Man schloss daraus, dass die Traumatisierung eine größere Rolle spielt, als die veränderte Innervation.

Nach Unterbindung der sensorischen Bahnen zum Gelenk gelang es bei der Ratte jedoch Charcotveränderungen ohne jegliche mechanische Schädigung herbeizuführen [107].

Beim Menschen werden derartige Veränderungen - zwar seltener - aber durchaus auch an den oberen Extremitäten beschrieben, an denen die mechanische Belastung im Vergleich zum Bein eine untergeordnete Rolle spielt [31, 59, 117, 19, 135]. Anamnestisch sind Traumata häufig schwierig zu eruieren, da sie aufgrund der fehlenden Sinneswahrnehmung der Neuropathiker unbemerkt bleiben. Die beobachteten Schädigungen sind aber auch nicht mit klassischen Traumata erklärbar, da sie nicht in üblichen Frakturlinien verlaufen.

### **Weitere Faktoren**

Durch neuartige Techniken werden zusehends mehr Indizien zur Pathogenese zusammengetragen:

Durch Verdichtung der Kollagenstruktur der gelenkführenden Ligamente kommt es zu abnehmender Gelenkbeweglichkeit, die die physiologische Druckverteilung beim Gehen ungünstig beeinflusst. Durch die abnehmende Flexibilität kommt es zu deutlich erhöhten Kraftspitzen in allen Bereichen des Fußes und somit wiederum zu repetitiven Mikrotraumata [47, 6].

Es kommt zur Ausbildung von kernspintomografisch nachweisbaren Knochenödemen. Bei fortgesetzter Belastung nehmen diese zu und können zum Anstieg des intraossären Knochendruckes und in der Folge zu Knochennekrosen führen [20, 69].

Zusätzlich zeigt sich bei den Diabetikern, die - wie eingangs erwähnt - die größte Gruppe der neuropathischen Osteoarthropathiker darstellt, eine Abnahme der Knochendichte im Bereich der Unterschenkel und Füße [26, 136]. Dies wird besonders bei akuter Osteoarthropathie mit einer relativ zur Osteoblastenaktivität verstärkten Osteoklastenaktivität beobachtet, kommt aber auch bei chronischer Osteoarthropathie vor [46, 90]. Die folgende Knochendichteminderung leistet sicher ebenfalls einen Beitrag zu den beobachteten Frakturen [21].

## 1.5 Die Klassifikation

Bei der Betrachtung der Arbeiten zum Thema Charcot Arthropathie fällt auf, dass selten die gleichen Klassifikationssysteme zur Stadieneinteilung verwendet werden, was den Vergleich von Ergebnissen behindert oder sogar unmöglich macht.

Wohl eher aus Gründen der Historie verwenden die meisten Arbeiten die Klassifikation von Eichenholtz (1966) [38, 110]. Sie ist hilfreich, wenn es um die Beschreibung der Knochenveränderungen geht, macht aber keine Aussage über die Weichteilsituation oder Lokalisation von Veränderungen (Tab. 1). Eine ähnliche Unterteilung nahmen Sella und Barette allein nach radiologischen Kriterien vor. Auch hier unterblieb die Angabe der Lokalisation [115].

Beschreibung	Stadium
Entwicklungsstadium: Knochen- und Knorpelfragmentation, Ödem, Hyperämie, Überwärmung, Erythem	1
Koaleszenzstadium: Adhärenz und Koaleszenz der Knochenfragmente, Rückgang der Entzündungsparameter	2
Rekonstruktionsstadium: Verminderung der Sklerose, Reformation der Gelenkarchitektur	3

Tab. 1: Stadieneinteilung nach Eichenholtz (1966)

Die einzigen, die vor Eichenholtz eine Einteilung der Charcot Veränderungen vorschlugen waren Kelly und Coventry, die - wie einige andere Forschungsgruppen nach Eichenholtz - lediglich anatomische Typen unterschieden (Tab. 2) [66, 54, 29, 68, 16, 110, 49].

Lokalisation	Beschreibung
1.	Vorfuß (Phalangeal)
2.	Mittelfuß (Metatarsal / ossa Cuneiforme)
3.	Vordere Mittelsäule (Talus, os naviculare, os cuneiforme)

**Tab. 2: Lokalisation nach Kelly und Coventry (1958)**

Eine Neuerung führte Schon ab 1998 ein, indem er die Klassifikation nach anatomischer Lokalisation und klinischer Einschätzung vornahm [111, 113]. Trotzdem fand sie bisher keine weite Verbreitung.

Auch wenn wir die Klassifikation nach Levin als ungenügend erachten, führen wir sie im Folgenden auf, da sie derzeit von der Deutschen Diabetes Gesellschaft empfohlen wird. In vier Stadien eingeteilt, beschrieb er die Morphologie der Erkrankung [71] (Tab. 3). Sie beschreibt die Schwere der Erkrankung in der Studienpopulation allerdings nur ungenügend, da für die Einteilung in das schwerste Stadium das Vorliegen einer plantaren Fußläsion gefordert ist, was bei Rückfußdeformitäten von eher geringerer Bedeutung ist:

Stadium	Beschreibung
I	akutes Stadium: Fuß gerötet, geschwollen, überwärmt (Röntgen ggf. noch normal)
II	Knochen und Gelenkveränderungen
III	Frakturen Fußdeformität: ggf. Plattfuß, später Wiegefuß durch Frakturen und Gelenkzerstörungen
IV	zusätzliche plantare Fußläsion

**Tab. 3: Stadieneinteilung nach Levin (1998)**

Ebenso unvollständig ist das allein die Lokalisation der Veränderungen beschreibende System von Sanders. Da auch dieses derzeit von der Deutschen Diabetes Gesellschaft empfohlen ist, wird es in dieser Arbeit verwendet [109] (Tab. 4):

Einteilung	Beschreibung
I	Interphalangealgelenke, Phalangen, Metatarso-phalangealgelenke, Metatarsalia
II	Tarsometatarsalgelenke
III	Navikulocuneiformgelenk, Talonavikulargelenk, Calcaneocuboidalgelenk
IV	Sprunggelenk
V	Calcaneus

**Tab. 4: Lokalisation nach Sanders (1991)**

Da neuropathische Osteoarthropathien regelhaft mit oberflächlichen oder tiefen Hautläsionen einhergehen, muss die Beschreibung des Stadiums und der Lokalisation der Erkrankung durch ein System ergänzt werden, das die Hautveränderungen beschreibt. Hier ist das System der Universität von Texas, oftmals auch als Wagner-Armstrong Klassifikation bezeichnet, weit verbreitet und fehlt in keiner Publikation zum Thema [7, 131] (Tab. 5):

	0	1	2	3	4	5
A	Prä- oder postulzerative Läsion	Oberflächliche Wunde	Wunde bis zur Ebene von Sehne oder Kapsel	Wunde bis zur Ebene von Knochen oder Gelenk	Nekrose von Fußteilen	Nekrose des gesamten Fußes
B	Mit Infektion	Mit Infektion	Mit Infektion	Mit Infektion	Mit Infektion	Mit Infektion
C	Mit Ischämie	Mit Ischämie	Mit Ischämie	Mit Ischämie	Mit Ischämie	Mit Ischämie
D	Mit Infektion und Ischämie	Mit Infektion und Ischämie	Mit Infektion und Ischämie	Mit Infektion und Ischämie	Mit Infektion und Ischämie	Mit Infektion und Ischämie

**Tab. 5: Texas Wound Classification (1998)**



Zudem findet in dieser Arbeit das 2004 von Kessler und Sommerey vorgestellte System Anwendung. Es beschreibt die Lokalisation und Gradation der skelettalen Veränderungen und teilt die Weichteilveränderungen in Stadien ein [118] (Tab. 6):

Es besteht aus fünf Komponenten:

**Primärveränderungen (P):**

Stadium	Beschreibung
P1	Ödem
P2	Entmineralisierung
P3	Remineralisierung

**Tab. 6: Stadium der Primärveränderung nach Kessler (2004)**

Wenn im Stadium der Entmineralisierung fortgeführt belastet wird, treten Sekundärveränderungen auf. Diese zeigen sich in Frakturen (Tab. 7), Dislokationen (Tab. 8) und Weichteilschäden (Tab. 9). Diese können unterschiedlich ausgeprägt sein:

**Fraktur (F):**

Stadium	Beschreibung
F0	Keine
F1	periphere Fraktur: Fraktur an der äußeren Begrenzung eines Knochens
F2	Knochendeformierung: Form- und / oder Konturverlust an einer Seite eines Knochens
F3	Fragmentierung: zwei oder mehr Seiten einer Knochenumgrenzung sind nicht mehr intakt, bzw. der Knochen ist in mehrere Einzelteile zerbrochen

**Tab. 7: Einteilung der Frakturform nach Kessler (2004)**

**Dislokation (D):**

Stadium	Beschreibung
D0	Keine
D1	Teileinbruch der Fußwölbung (Mittelfuß) oder Subluxation eines/ mehrerer Gelenke (Rückfuß, bzw. Sprunggelenk)
D2	kompletter Einbruch der Fußwölbung (Mittelfuß) oder Luxation eines/ mehrerer Gelenke (Rückfuß, bzw. SG)

**Tab. 8: Einteilung der Dislokation nach Kessler (2004)****Weichteilschaden / Soft Tissue (S):**

Stadium	Beschreibung
S0	Keine Weichteilveränderung
S1	Schwielen, „Kallus“
S2	Blaues, nicht infiziertes Ulkus
S3	Ulkus mit lokalem Infekt
S4	Ulkus mit systemischem Infekt

**Tab. 9: Einteilung der Weichteilveränderungen nach Kessler (2004)**

Die Lokalisation wird gesondert dokumentiert (Tab. 10).

**Lokalisation:**

Stadium	Beschreibung
L1	Vorfuß
L2	Lisfranc
L3	Articulatio Naviculocuneiforme
L4	perinaviculär
L5	Chopart
L6	Talus
L7	Unteres Sprunggelenk
L8	Calcaneus/ calcaneocuboidal
L9	Oberes Sprunggelenk
L10	Tibia

**Tab. 10: Lokalisation der knöchernen Veränderung nach Kessler (2004)**

Aus oben genannten Gründen erfolgte die Klassifikation in dieser Arbeit nach Levin, Sanders, Wagner-Armstrong und Kessler.

## **1.6 Problemstellung**

Die Problematik bei der Behandlung des neuropathisch-osteoarthropathischen Fußsyndroms ist vielschichtig. Eine der größten Hürden ist dabei erstaunlicherweise die Erkrankung überhaupt zu erkennen.

Über die adäquate Diagnostik besteht keine Einigkeit. Stellt aber nach Erkennen der Erkrankung schon die technische Umsetzung der Operation eine anspruchsvolle Aufgabe dar, darf darüber nicht vergessen werden, dass der Patient meist mittel- bis schwerkrank ist und ohne eine gute Versorgung der Nebenerkrankungen kein Gesamterfolg erreicht werden kann.

### **1.6.1 Diagnostik bei Charcot Osteoarthropathie**

#### **Klinisches Bild der Charcot Osteoarthropathie**

Obwohl das klinische Bild eines akuten Charcot Fußes bei entsprechender Anamnese eindeutig ist, wird es aus Mangel an Vertrautheit mit dem Krankheitsbild oft übersehen oder fehlinterpretiert, da die Symptome im akuten Stadium ähnlich sind, wie die einer tiefen Infektion des Fußes: Rubor, Calor und Tumor.

Grund für das Übersehen der Erkrankung ist dabei, dass gerade die Zeichen fehlen, die einen Nicht-Neuropathiker zum Arzt führen würden: Dolor und functio laesa. Die Symptome sind klassischerweise Ausdruck des diffusen, aseptischen Knochenödems.

Aufgrund der Symptomenähnlichkeit mit einer tiefen Infektion, geht man in vielen Fällen, in denen die Erkrankung überhaupt bemerkt wird, zunächst von einer Osteomyelitis aus. Auch wenn bei negativer Wundanamnese und ohne Primärfokus eine Osteomyelitis genauso unwahrscheinlich ist, wie bei der Normalbevölkerung, muss diese als worst-case-szenario sicher ausgeschlossen werden. Dazu kommt eine Reihe von diagnostischen Hilfsmitteln in Betracht.

### **Konventionelle Radiografie**

Im Primärstadium der Erkrankung ist mit konventioneller Radiografie keine Veränderung auszumachen.

Bei Fortschreiten der Charcot Erkrankung kommt es zur Entmineralisierung, die nicht von den Veränderungen einer frühen Osteomyelitis zu unterscheiden ist [100]. Die differentialdiagnostisch wichtigen Mikrofrakturen sind in konventionellen Röntgenbildern nicht nachzuweisen. Erst die Spätveränderungen der Erkrankung mit Aufhebung der Knochenkontur sind in der konventionellen Radiografie auszumachen (Abb. 4).



**Abb. 4: Dislokation des Talus ohne Weichteilläsion**

Im Falle einer ausgeprägten Osteomyelitis würden randständige Osteolysen und Abraumzonen auf die Knocheninfektion hindeuten.

Späte Symptome sowohl der Charcot Erkrankung, wie auch der Osteomyelitis, können Skeletteinbrüche und sklerotische Bezirke sein, so dass auch hier keine Differenzierung erfolgen kann.

Zusammenfassend muss man sagen, dass die konventionelle Radiografie ihren Stellenwert vornehmlich in der Verlaufskontrolle bei fortbestehendem klinischen Verdacht oder bereits gesicherter Diagnose der Erkrankung hat.

## Computertomografie

Im Primärstadium zeigt sich weder bei der Charcot Erkrankung noch bei einer Osteomyelits eine Veränderung in der Computertomografie (CT). Ein wichtiger Unterschied zeigt sich jedoch bei weiterem Fortschreiten beider Erkrankungen: Während sich bei der Osteoarthropathie Mikrofrakturen entlang der Gelenklinien zeigen, weist eine fortschreitende Osteomyelits kleinere Osteolysen vor allem im Bereich des spongiösen Knochens.



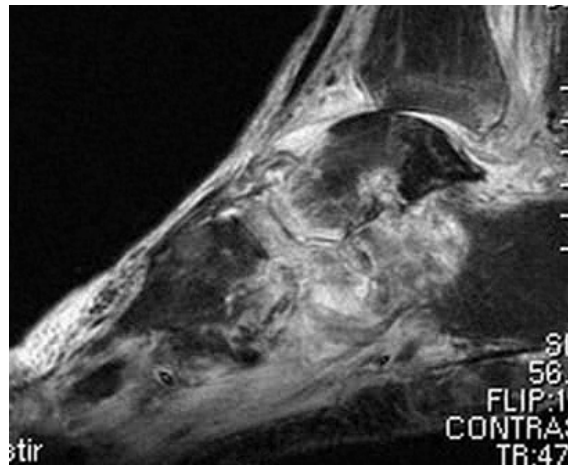
**Abb. 5: Vergleich osteoarthropathischer Veränderungen konventionell und CT diagnostisch**

Aufgrund der exzellenten Möglichkeiten bei der Darstellung der Knochenstruktur und der Lokalisation von Veränderungen, ist die CT in Zusammenschau mit den klinischen Befunden durchaus zur Erstdiagnose einer Charcot Osteoarthropathie geeignet. Insbesondere bei der Planung von Operationen und zur Kontrolle des Erfolges ist die CT unverzichtbar (Abb. 5).

## Magnetresonanztomografie

Zur Differenzierung von Charcot Osteoarthropathie und Osteomyelitis ist die Magnetresonanztomografie (MRT) ungeeignet, da sie jede Form erhöhter Knochenaktivität herausstellt. Daraus ergibt sich, dass das Knochenödem des Charcot Primärstadiums nicht von der wichtigen Differentialdiagnose einer

Osteomyelitis zu unterscheiden ist [40] (Abb. 6).



**Abb. 6: Bei akutem osteoarthropathischem Knochenödem ist die Differenzierung von einer Osteomyelitis häufig unmöglich**

Sofern eine Osteomyelitis ausgeschlossen werden kann, ist die MRT das diagnostisch wertvollste Mittel, um den Fortgang des Charcot - Knochenödems zu beurteilen und gibt wertvolle Hinweise, ab wann eine Extremität wieder normaler Belastung ausgesetzt werden kann (Abb. 7).



**Abb. 7: Rückläufiges Knochenödem bei Osteoarthropathie mit Luxation im talo-navicular Gelenk**

### **Szintigrafie**

Die Szintigrafie hat sowohl im Frühstadium einer Osteomyelitis wie auch der Charcot Erkrankung eine hohe Sensitivität von bis zu 86% [35]. Ungünstigerweise bringt sie die gleichen Voraussetzungen mit, wie die MRT, wodurch die Spezifität der Untersuchung stark eingeschränkt ist, da annähernd jede Form von Knochenerkrankung eine gesteigerte Aufnahme von markierten Isotopen bewirkt.

### **Knochenbiopsie**

Bei Vorliegen von Weichteilläsionen ist die Differenzierung der Erkrankungen besonders erschwert, so dass in Ausnahmefällen eine Knochenbiopsie und mikrobiologische Aufarbeitung das Mittel der Wahl ist, wenn die Identifikation einer Osteomyelitis therapieentscheidend ist. Aufgrund des Aufwandes und der Kosten und der Tatsache, dass ein Ergebnis erst verzögert vorliegt, muss die Indikation für eine Biopsie streng gestellt werden [50, 55, 73]. Die Histologie liefert bei neuropathischer Osteoarthropathie keine Zusatzinformationen, da traumatische und infektiöse Veränderungen des Knochens nicht differenziert werden können [60].



In der Summe erscheint das Primärstadium einer Charcot Erkrankung wahrscheinlich, wenn folgende Faktoren zusammentreffen:

- stabiles Fußskelett
- langjährige Neuropathie
- keine bakterielle Eintrittspforte oder unverdächtige Hautläsion weit entfernt von der klinischen Hauptmanifestation
- späte Vorstellung da keine Schmerzen oder Funktionseinschränkung, sondern lediglich Rötung, Schwellung, Überwärmung
- keine laborchemischen Auffälligkeiten
- keine vorbestehenden, erschwerenden Faktoren, insbesondere gute Perfusion

Eine Osteomyelitis muss ausgeschlossen werden, wenn charakteristische Symptome vorliegen:

- Instabiles Fußskelett
- Hautläsionen in unmittelbarer Nähe zur klinischen Hauptmanifestation entweder als Eintrittsort der bakteriellen Kontamination oder als frühes Zeichen einer Fistelung
- Vorstellung neuropathischer Patienten wegen Schmerzen und eingeschränkter Funktion der Extremität
- laborchemische Auffälligkeiten
- Zeichen der metabolischen Entgleisung, wie starke Blutzuckerschwankungen
- kurzes Bestehen der neuropathischen Erkrankung
- vorbestehende, erschwerende Faktoren, insbesondere Durchblutungsstörungen oder Immunsuppression

Aufgrund des großen Risikos bei spät erkannter Osteomyelitis muss in diesen Fällen

frühzeitig eine erweiterte Diagnostik mittels CT und MRT erfolgen. Die wichtigste Maßnahme ist in dieser Situation jedoch die rechtzeitige Vorstellung des Patienten in einem Schwerpunktzentrum.

### **1.6.2 Rekonstruktive Maßnahmen beim neuropathischen Fuß**

Während es noch immer keine prospektiv-randomisierten Daten zur elektiven, chirurgischen Korrektur von Charcot Fehlstellungen gibt, hat sich in der Literatur ein Wandel dahingehend vollzogen, dass zwar noch Uneinigkeit über den optimalen Zeitpunkt für rekonstruktive Maßnahmen besteht, aber nicht mehr deren Sinnhaftigkeit an sich bezweifelt wird [4].

Durch die Arbeiten vieler Teams, die sich mit der Korrektur von Charcot Deformitäten beschäftigen, konnte bewiesen werden, dass gute Ergebnisse auch bei Neuropathikern erzielt werden können. Die vorherrschende Expertenmeinung sieht bei ausbleibendem Therapieerfolg nach Ausreizung aller konservativen die Indikation für chirurgische Maßnahmen [80, 9, 121].

Dabei müssen die Optionen gründlich abgewogen und mit dem Patienten erörtert werden: Es kommen von der Abtragung von Knochenprominenzen über dauerhafte rekonstruktive Eingriffe bis zur Amputation grundsätzlich alle Möglichkeiten in Betracht [103, 93, 111], [9].

Eingriffe am neuropathischen Fuß stellen den Operateur vor besondere Schwierigkeiten. Nicht nur die langjährigen Deformierungen und die chronischen Wunden, auch die Persönlichkeitsstruktur der Patienten, die oft einen an einen Neglekt grenzenden Umgang mit ihrer Erkrankung an den Tag legen, können eine erfolgreiche Therapie verhindern.

### **Technische Möglichkeiten der Rekonstruktion**

Die geringe Fallzahlen der Arbeiten in der Literatur und die ungleiche prä- und postoperative Klassifikation von Ort und Ausprägung der Erkrankung macht einen

Vergleich der bisher eingesetzten Techniken unmöglich [98, 116, 91, 132, 27, 25, 123, 94, 67, 56, 106, 82, 87, 76, 58].

Bisher wurden folgende Techniken zum Versuch der Rückfußstabilisierung angewandt:

### **Die Schraubenarthrodese**

Die Möglichkeit der freien Positionierung ist der größte Vorteil bei der Schraubenosteosynthese, weshalb die Technik vermutlich am häufigsten angewendet wird [25, 27, 52, 56, 65][72, 104]. Um die Arthrodese unter Kompression zu bringen, werden vorzugsweise kanülierte Großfragmentschrauben verwendet.

Biomechanische Untersuchungen haben gezeigt, dass die beste Versteifung durch drei Schrauben erreicht wird, die in unterschiedlicher Richtung ausgerichtet sind [75]. Nachteil der Technik, ist die Möglichkeit nur einen Gelenkspalt sinnvoll zu verspannen, so dass sie sich nicht bei tibio-talo-calcaneärer Versteifung anbietet.

### **Die Verriegelungsarthrodese**

Obwohl die Rückfußversteifungen mittels Verriegelungsmarknagel schon seit einigen Jahren angewendet wird, ist es doch eine verhältnismäßig junge Technik, so dass die Indikationen nur nach und nach ausgeweitet wurden und erst in letzter Zeit auch die Charcot Arthropathien erfasst wurden [98]. Nachdem der Erfolg der Technik an sich unbestritten ist, solange sie bei Patienten ohne gravierende Neben- oder Grunderkrankung angewandt wird, muss sich zeigen, ob eine Anwendung auch bei ungünstigeren Voraussetzungen gerechtfertigt ist. [11].

Von der Theorie her sollte der Verriegelungsnagel durch seine große Auflagefläche gerade bei Patienten mit kompromittierter Knochendichte ein günstiges Verfahren zu sein.

Verschiedene Gruppen erreichten bei aseptischen Rückfußversteifungen bei Charcot Deformitäten Durchbauraten zwischen 71% und 90% [87, 91, 76, 18, 34]. Auch wenn

die Fallzahlen klein waren und die Patienten nicht randomisiert, bewiesen diese Operationen immerhin die prinzipielle Anwendbarkeit der Technik.

### **Die Plattenarthrodese**

Die Plattenosteosynthese wird zur Gelenkversteifung schon lange erfolgreich angewendet. Bei der Charcot Osteoarthropathie muss beispielsweise nach septischer TALEKTOMIE Keimfreiheit bestehen, bevor die Versteifung durchgeführt werden kann [137].

Während auch hier die Diskussion über die beste Platte anhält, ist die Wirksamkeit der Technik mit ähnlichen Wirkungsgraden wie die Verriegelungstechnik grundsätzlich bewiesen [58, 82, 1, 89]. Im Falle von Infektionen, gibt es Autoren, die eine Kombination der Plattenosteosynthese mit Schraubenosteosynthese und Fixateur externe empfehlen und von guten Ergebnissen berichten [104].

### **Der Fixateur externe**

Die Indikation für den klassischen Fixateur externe ergibt sich bei infizierten Situationen mit ausgeprägter Instabilität, bei denen die Infektkontrolle zunächst im Vordergrund steht. Mitunter wurde er zusätzlich zur internen Stabilisierung angewendet [104].

Die alleinige Anwendung des klassischen Fixateur externe zeigte in der Vergangenheit schlechte Durchbauraten von bis zu 38%, so dass dieser Pfad weitgehend verlassen wurde [124].

### **1.6.3 Begleiterkrankungen beim Charcotfuß**

Eine Reihe von Nebenerkrankungen beeinflusst das Ergebnis bei der Behandlung der neuropathischen Osteoarthropathie entscheidend. Je nach Operateur werden an den Patienten unterschiedliche Anforderungen gestellt, um für eine Rekonstruktion in Frage zu kommen:

**Mobilität**

Es muss präoperative Mobilität gegeben sein (Tab. 11). Da die chirurgischen Maßnahmen in der Regel sehr aufwändig sind und eine lange postoperative Entlastungsphase erfordern, müssen sowohl die körperlichen, wie auch die mentalen Voraussetzungen für eine Entlastung gegeben sein, so dass Patienten, die eine Einschränkung ihrer Mobilität von größer Grad 4 haben, für eine Operation nur in Ausnahmefällen in Frage kommen [101]. Patienten, die in einen Grad 1 bis 3 eingeteilt werden, können weitgehend uneingeschränkt behandelt werden.

Grad	Beschreibung
1	Freie Mobilität drinnen und draußen
2	Freie Mobilität draußen mit Unterstützung
3	Freie Mobilität drinnen mit Unterstützung
4	Abhängigkeit vom Rollstuhl
5	Bettlägerigkeit

**Tab. 11: Grade der Mobilität**

**Compliance**

Von entscheidender Bedeutung ist aber auch die richtige Einschätzung von Art und Dauer der Behandlung durch den Patienten. Der vom Patienten zu erbringende Aufwand sowie das zu erwartende Ergebnis müssen richtig erfasst und bewertet werden können. Der Patient muss den Willen bekunden, sich der langen Behandlung zu unterziehen und diese zu unterstützen.

**Diabetes mellitus**

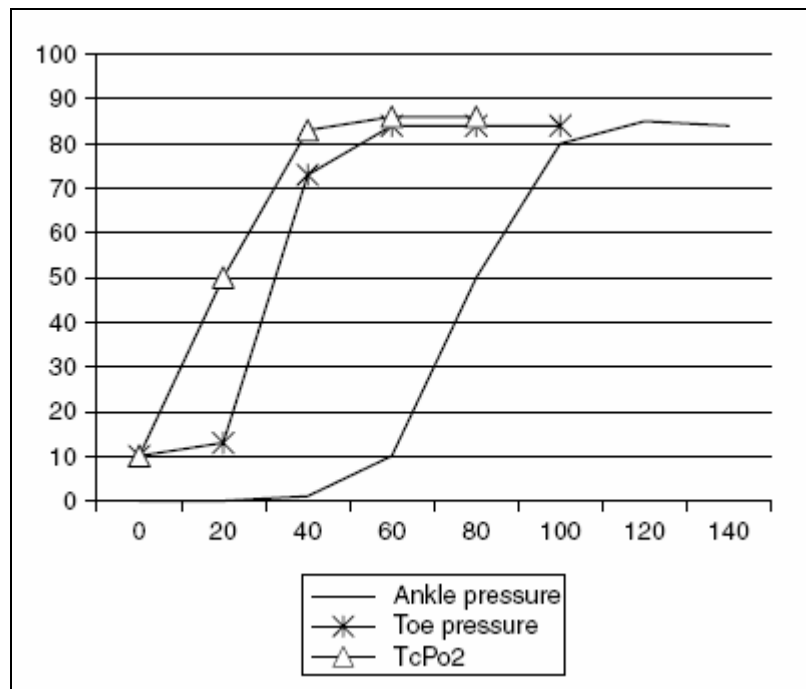
Der Großteil der Patienten mit neuropathischem Fußsyndrom kommt aus der Gruppe der Langzeitdiabetiker. Die Prävalenz des Diabetes mellitus beträgt in Deutschland derzeit ca. 5% der Bevölkerung und betrifft somit etwa 4 Millionen Bundesbürger. Von diesen entwickeln ca. 50% eine relevante Neuropathie. Ungeklärt ist zwar,

warum nur 0,2 – 2,5% der Diabetiker eine Osteoarthropathie entwickeln, vorsichtig gerechnet entspricht dies über 40000 Menschen [16, 83, 111]. Die klinische Erfahrung zeigt, dass die Patienten mit den Gefahren, die aus dem diabetischen Fußsyndrom entstehen ähnlich sorglos umgehen, wie mit der Grunderkrankung an sich, da die Folgen einer schlechten metabolischen Einstellung nur sehr langsam ihre Wirkung zeigen. Diese Patientengruppe ist postoperativ schlecht zu führen, da sie häufig eine Neglekt-ähnliche Haltung gegenüber der Grunderkrankung sowie allen Folgeerscheinungen an den Tag legt. Um eine verfrühte Belastung der Osteosynthese zu vermeiden, sind Maßnahmen wie Unterschenkelorthesen oder vollständige Immobilisierung zu empfehlen.

### **Periphere arterielle Verschlusskrankheit**

Die häufig vorliegenden schlechten oder infizierten Weichteilverhältnisse sind oft begünstigt und nicht selten ausgelöst von atherosklerotischen Gefäßveränderungen. Sofern sich ein Patient mit akuter, systemischer Infektion vorstellt, steht das radikale Debridement aller nekrotischen und infizierten Gewebeanteile im Vordergrund, unabhängig davon, welches Gewebe dabei betroffen ist (auch Minoramputationen) [126]. Zu beachten ist dabei jedoch, dass es nicht zielführend ist, nicht belastbare Einheiten zu belassen. Diese sogenannte Grenzzonen Amputation ist nur im lebensbedrohlichen Notfall zu vertreten [105]. Anschließend ist eine angiologische Abklärung zwingend erforderlich.

Eine fortgesetzte Minderperfusion begünstigt Infektionen und schränkt die postoperativen Heilungschancen ein (Abb. 8). Ein Debridement kann nur erfolgreich sein, wenn eine ausreichende Gefäßversorgung sichergestellt ist. Sofern keine Pulse getastet werden können oder die Dopplersonografie ein schwaches Signal liefert, ist von einer Ischämie auszugehen.



**Abb. 8: Korrelation zwischen erwarteter Heilung und angiologischem Befund nach Apelqvist [3]**

Andererseits ist beispielsweise die Nekrose einer einzelnen Zehe nicht unbedingt gleichzusetzen mit einer pAVK im Stadium 4, da es durch eine infektbedingte Schwellung innerhalb eines Kompartments des Fußes auch zu einer temporären Ischämie in den abhängigen Bereichen kommen kann, deren Ursache nicht die Gefäßveränderungen ist. Sofern das eigentliche Problem nicht sofort erkannt und durch Kompartiment-Spaltung behoben wird, kommt es im Verlauf zu funktionellen oder embolischen Verschlüssen [101].

### **Knochen- und Weichteilinfektionen**

Der Talus als Hauptleidtragender ist häufig zermalmt und für eine Rekonstruktion unbrauchbar, so dass er entfernt werden muss (Abb. 9). Damit steht der zentrale Punkt der physiologischen Kraftübertragung für eine Rekonstruktion nicht mehr zur Verfügung und der Erhalt des Fußes ist durch Instabilitäten in Gefahr. Nach der Entfernung aller destruierten Knochen ist es zweckmäßig, zunächst den Versuch

einer Rückfußstabilisierung zu unternehmen, da dies darüber entscheidet, ob ein Vorfußerhalt sinnvoll ist [64].



**Abb. 9: Ausgeprägte Destruktion des Talus**

Eine Aufhebung der Integrität des Fußskelettes geht mit unphysiologischer Druckverteilung bei der Abrollbewegung einher. Zudem kommt es zu einer Abnahme der Elastizität der Weichteile [45, 102]. Die zunehmende Steifigkeit wird durch eine Verschmelzung benachbarter Kollagenfibrillen und die Stärkung der Querverbindungen der Fibrillen bewirkt [33, 53]. Auch ungünstige metabolische Prozesse wie die Hyperglykämie, Hypoxie oder Ischämie schädigen das Gewebe weiter [61]. Durch Druckspitzen an prominenten Knochenstrukturen kommt es zu Fußulzera [70, 122].

Zunächst harmlos imponierende Oberflächenkontaminationen können durch die Ausbreitung in tiefere Schichten und entlang der Sehnenstrukturen oder Einbruch in Blut- oder Lymphgefäße schnell zur Gefährdung der Extremität führen. Entscheidend ist dabei das klinische Bild. Blutkontrollen und Testung des Erregerspektrums haben für die chirurgische Therapie bisweilen eine untergeordnete Bedeutung, wenn die Notwendigkeit zu raschem Handeln ein Abwarten der Ergebnisse der Untersuchungen verbietet [129]. Die vorliegenden Daten deuten an, dass eine präoperativ größere Wundtiefe oder eine Infektion das Risiko einer Amputation



erhöhen [7, 85].

Infektionen von Weichteil- und Knochenstrukturen müssen gleichzeitig und radikal behandelt werden, wobei verschiedene Techniken zur Wundreinigung eingesetzt werden können. Skalpell, scharfer Löffel, Kürette, Wasserstrahldermatom und Ultraschalldebridement sind weit verbreitete und übliche Instrumente, die sich als günstig bei der Abtragung tieferer Nekrosen gezeigt haben. Sobald die Wunde grob gereinigt ist und sich keine neuen Nekrosen zeigen, können beispielsweise medizinischen Fliegenmaden oder die Unterdrucktherapie mit Vacuumpumpen die weitere Wundreinigung und die Bildung von Granulationsgewebe deutlich beschleunigen.

Bei Zeichen der systemischen Infektion sollte eine chirurgische Therapie stets zunächst durch eine kalkulierte antibiotische Therapie, später durch eine antibiotische Therapie nach Antibiogramm unterstützt werden [101].

Besondere Bedeutung kommt bei der Heilung von Infektionen der Ruhigstellung und Entlastung zu [62, 119, 109, 5]. Soweit möglich sollte in Bezug auf die Multimorbidität der Patienten nur soviel Ruhigstellung wie nötig durchgeführt werden. Je nach den physischen Voraussetzungen des Patienten muss der Grad der Entlastung individuell angepasst werden [76, 86, 115].

Im angelsächsischen Sprachraum ist der ‚total contact cast‘ weit verbreitet [5, 57, 83, 86, 92, 95, 108, 115, 116]. Dabei wird durch minutiöse Anmodellierung eines Gipses an den deformierten Fuß versucht, eine gleichmäßige Druckverteilung bei der Belastung zu erreichen, unter der die Druckläsionen abheilen können [51, 125].

Während bei vielen Osteosynthesen beim sonst gesunden Patienten eine Teilbelastung möglich ist, verbietet sich eine Teilbelastung in Verbindung mit der Neuropahtie, die ein Abschätzen der aufgewendeten Kraft unmöglich macht. Zudem fehlt vielfach die Einsichtsfähigkeit in die Notwendigkeit zur Entlastung, so dass auch Patienten, die physisch und sozial in der Lage wären zu entlasten, sich non-compliant zeigen. Wenn der Patient die körperlichen Voraussetzungen zur Entlastung mit Hilfsmitteln nicht mitbringt, ist eine Entlastung unter vollständiger Bettruhe indiziert.

## **1.7 Ziel der Studie**

Die klinische Erfahrung bei der Behandlung von Patienten mit neuropathischer Osteoarthropathie hat gezeigt, dass in vielen Fällen, bei denen ein Fußerhalt zunächst schwierig erscheint, nicht nur eine Majoramputation vermieden, sondern auch ein gutes Ergebnis erzielt werden kann, das dem Patienten eine gute Funktion im Alltag ermöglicht.

Diese Nachuntersuchung soll nun die Bedingungen klären, unter denen ein gutes Ergebnis erzielt werden kann und Umstände aufzeigen, die zu ungünstigen Ergebnissen führen.

Dabei wurden Patienten mit unterschiedlichsten Weichteilverhältnissen einbezogen, um zu klären, welche Ausgangssituation eine entscheidende Rolle spielt.

Es soll versucht werden, Anhaltspunkte zu finden, die eine klare Indikation zur Arthrodesen darstellen und untersucht werden, ob präoperative Indikatoren identifiziert werden können, die eine primäre Amputation rechtfertigen.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Untersuchungsmaterial**

Die Chirurgische Klinik der LMU München – Innenstadt ist eine Schwerpunktlinik in der Behandlung des neuropathisch-osteoarthropathischen Fußsyndroms. Zugewiesen werden Patienten mit schweren Destruktionen des Rückfußes auf dem Boden verschiedenster Ursachen. Am häufigsten wird die Indikation zur Stabilisierung des Rückfußes auf dem Boden von diabetischen Langzeitveränderungen und nach chronischem Alkoholabusus gestellt. Seltener liegt eine angeborene Herabsetzung der Sensibilität vor. Von 01/2001 bis 12/2006 wurden in 19 Fällen Arthrodesen des Rückfußes vorgenommen. Nicht in die Studie aufgenommen wurden Patienten, bei denen Fußfehlstellungen auf Nicht-Neuropathischer Grundlage bestanden.

### **2.2 Untersuchungsmethoden**

Die Untersuchung wurde retrospektiv durchgeführt. Zur Beurteilung lagen die Unterlagen aus der ambulanten und stationären Behandlung der Patienten vor. Erhoben wurden Daten zu Alter, Grunderkrankung, Nebenerkrankungen, Voroperationen, klinischer Symptomatik, Weichteilschäden, Zahl und Art der durchgeführten Operationen, der Osteosynthesetechnik und das Ergebnis der Nachuntersuchung.

Bei allen Patienten standen die digitalisierten radiologischen Daten vor Beginn der Behandlung und im Verlauf bis zum Abschluss der Studie zur Verfügung. Bei allen Patienten, bei denen eine Weichteilläsion vorlag, wurden Abstriche entnommen und ein Antibiotogramm angefertigt. Ausschließlich Patienten, deren Fußpulse (Arteria tibialis posterior und Arteria dorsalis pedis) kräftig palpabel waren, wurden keiner angiologischen Untersuchung zugeführt.

Die Einteilung der Veränderungen der Extremitäten erfolgte retrospektiv anhand der radiologischen Bildgebung in Zusammenschau mit den bakteriologischen und

laborchemischen Ergebnissen. Es wurden die Systeme von Levin, Sanders und Kessler verwendet (Tab. 3, Tab. 4, Tab. 6 - Tab. 10). Ein Wundbefund wurde - sofern zutreffend - nach der Wagner Armstrong Wundklassifikation dokumentiert (Tab. 5).

Bei Nachweis eines Keimes in der Wunde wurde in Abwesenheit von lokalen und laborchemischen Entzündungszeichen von einer oberflächlichen Kontamination ausgegangen. Das Vorliegen von klinischen Infektionszeichen mit Erhöhung systemischer Entzündungsmarker wurde als Weichteilinfektion gewertet. Sofern die Läsion bis auf den Knochen reichte, gingen wir - bei entsprechender radiologischer Symptomatik - von einer begleitenden Osteomyelitis aus.

Nach Weichteil- und Knochendebridement wurde eine Rekonstruktion erst durchgeführt, wenn sich keine weiteren Nekrosen zeigten, wobei eine Osteosynthese auch vorgenommen wurde, wenn nach dem Abklingen der systemischen Infektionsparameter und wiederholter Wundreinigung noch keine geschlossene Hautdecke vorlag.

Die Klassifikationen spiegeln den Aufnahmebefund der Patienten wieder. Es wurden die angewendeten Techniken nach Art, Anzahl und Reihenfolge dokumentiert, sowie der klinische Eindruck der Extremität bei Abschluss der Studie.

### **2.3 Die Operationstechniken**

Wegen der sehr unterschiedlichen Ausgangssituation mit Vorliegen von vollkommener Desintegration des Fußes ohne Hautläsion bis zu relativ intakter Knochenstruktur mit begleitender Osteomyelitis konnte in dieser Pilotstudie keine Randomisierung der Patienten erfolgen. Einige Implantate verbieten sich bei vorausgegangener Osteomyelitis von selbst, andere finden durch die schlechte Qualität des Restknochens keine ausreichende Verankerung. Das angewandte Osteosyntheseverfahren berücksichtigte zu erwartenden Halt der Implantate im Knochen sowie die geringste Beeinträchtigung der Weichteile. Auch die geschätzte Compliance des Patienten ging in die Überlegungen mit ein.

In Abwesenheit evidenzbasierter Daten zur Stabilisierung bei neuropathischer Osteoarthropathie wurde deshalb in Absprache mit dem Patienten jeweils eine individuelle Entscheidung zur durchzuführenden Technik gefunden.

Die möglichen Techniken wurden eingangs beschrieben. Jeder Arthrodesen wurde die Behandlung der vorhandenen Weichteil- oder Knocheninfektes vorangestellt. Verbliebene Hautläsionen stellten in Abwesenheit von lokalen oder systemischen Infektionsparametern kein Operationshindernis dar, sofern der operative Zugang nicht ebendort geplant war.

### 2.3.1 Schraubenarthrodesen

Die Schraubenarthrodese wurde nur zur Überbrückung nur eines Gelenkspaltes angewendet. Sie wurde als bevorzugte Technik angewendet, wenn der Calcaneus erheblich verändert war, so dass weder eine Platte noch ein Marknagel verankert werden konnte (Abb. 10).

Die Versteifungsoperation mittels gekreuzter, kanülierter Großfragmentschrauben erfolgte in der Regel über einen ventro-lateralen und einen ventro-medialen Zugang. Die Fibula wurde im Gelenkbereich reseziert. Die Gelenkflächen wurden mit dem Meißel und der oszillierenden Säge abgetragen und zwei Großfragmentschrauben von plantar bzw. dorsal eingebracht, so dass sicher die Kortikalis der Tibia gefasst wurde. Sofern nach dieser Maßnahme keine ausreichende Stabilität vorlag, wurde eine dritte Schraube anterograd von der Tibia eingebracht und im Calcaneus verankert.



Abb. 10: Beispiel einer Schraubenarthrodese

### 2.3.2 Verriegelungsarthrodesen

Sofern die Weichteile plantar stark kompromittiert waren oder der Hinweis auf eine tiefe Osteomyelitis vorlag, kam die Arthrodese durch Marknagelung nicht in Betracht. Die Verriegelung wurde versucht, wenn eine tibio-talo-calcaneare Versteifung vorgenommen wurde und wenn die erwartete Compliance des Patienten ausreichend war. Es wurde davon ausgegangen, dass eine verfrühte Belastung am ehesten toleriert werden könnte. Nach der Resektion der Fibula, der Talusentfernung und der multiplanaren Abtragung der korrespondierenden Gelenkflächen der Arthrodese über ventrale Zugänge von lateral und medial erfolgte die Einbringung des Verriegelungsnagels retrograd von plantar. Der Markraum wurde mit dem entsprechenden Instrumentarium aufgebohrt und das Implantat anschließend proximal und distal verriegelt (Abb. 11).



Abb. 11: Beispiel einer Verriegelungsarthrodese

Es wurden die Systeme von Depuy (Versanail 10 – 12 mm Durchmesser, 20 cm Länge, 3 distale und 4 proximale Verriegelungsbolzen), Smith&Nephew (Trigen Hindfoot Nail, 10 – 12 mm Durchmesser, 18 – 20 cm Länge, 3 distale und 4 proximale Verriegelungsbolzen) und Stryker (12 mm, 32 – 36 cm Länge, 3 distale und 4 proximale Verriegelungsbolzen) eingesetzt. Die distale Verriegelung wurde mit dem zugehörigen Zielgerät durchgeführt, die proximale Verriegelung freihändig unter Bildverstärkerkontrolle. Nach einem Monat wurde die proximale Verriegelung dynamisiert.

### 2.3.3 Plattenarthrodesen

Auch hier wurde zunächst die Fibula reseziert. Wenn keine Talektomie vorgenommen wurde, konnte die Resektion der Gelenkflächen von diesem Zugang aus vorgenommen werden. Zur Talektomie wurde ein zweiter Zugang von ventro-medial angelegt. Zur Versteifung wurden 4,5 mm DC-Platten oder winkelstabile Implantate (Philosplatte) verwendet (Abb. 12).

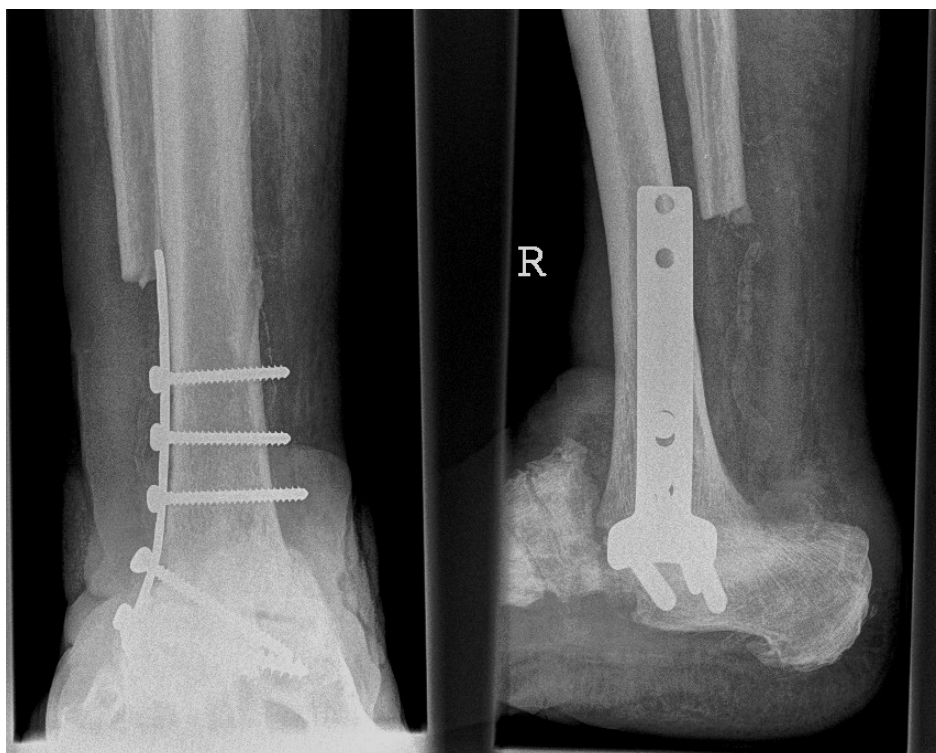


Abb. 12: Beispiel einer Plattenarthrodesen mit konventioneller T-Platte



### 2.3.4 Externe Fixation

Die externe Fixation wurde bei erwarteter Non-Compliance oder bei schlechter Knochensituation als flankierende Maßnahme eingesetzt. In drei Fällen konnte aufgrund der schlechten Weichteilsituation keine interne Fixation vorgenommen werden, so dass allein ein externer Fixateur zum Einsatz kam (Abb. 13).



**Abb. 13: Beispiel einer externen Fixation**

Der klassische Fixateur wurde mit jeweils zwei Steinmann Nägeln im Fußbereich verankert. In der Tibia wurden zwei Schanz'sche Schrauben und ein Steinmann Nagel eingebracht und in üblicher Weise verspannt.

### **2.4 Die Nachbehandlung**

Alle Patienten wurden eingehend darüber aufgeklärt, dass eine Belastung der Extremität für mindestens 8 Wochen postoperativ strikt zu vermeiden war. Entsprechende Vorkehrungen wurden getroffen, um zumindest die technischen Voraussetzungen dafür zu schaffen. Patienten, die eingeschränkt zur Vollerlastung in der Lage waren, wurde ein Rollstuhl rezeptiert. In einigen Fällen wurden spezielle Unterschenkelorthesen angepasst, wenn keine Möglichkeit zur Rollstuhlnutzung bestand. In einem Fall musste die Entlastung während der gesamten Dauer liegend erfolgen. Die Patienten wurden postoperativ klinisch und radiologisch überwacht. Sofern sich radiologisch Zeichen eines Durchbaus zeigten, wurde mit einer schrittweisen Belastungssteigerung begonnen. In allen Fällen wurde mit Beginn der Vollbelastung ein orthopädischer Halbschuh mit Knocheinschluss, bei ausbleibendem Durchbau ein Hochschuhschuh angefertigt.

### 3 Ergebnisse

In die Studie konnten von Januar 2001 bis Dezember 2006 19 Patienten der Chirurgischen Klinik und Poliklinik der LMU München - Innenstadt eingeschlossen werden. Bei diesen wurden insgesamt 19 Versteifungen des Rückfußes vorgenommen.

Es wurden 12 Frauen und 7 Männer in die Studie aufgenommen. Dabei war die rechte und linke Extremität annähernd gleich häufig betroffen (links 10, rechts 9).

Bei sämtlichen Patienten war die Erkrankung mit Ausbildung von ausgeprägten Instabilitäten weit fortgeschritten, so dass ein konservatives Vorgehen ausgeschlossen war. Die Beobachtungsdauer nach Ausführung der Rückfußversteifung betrug durchschnittlich 13,2 Monate (2 - 45).

Im Mittel waren die Patienten 64 Jahre alt (Varianz 44 bis 80) (Tab. 12)

		<b>n</b>
<b>Alter der Patienten</b>	1 - 50	2
	51 - 60	1
	61 - 70	14
	71 - 80	2

**Tab. 12: Altersverteilung der Patienten**

Eine periphere Neuropathie bestand bei 19 Patienten (100%), ein Diabetes mellitus bei 14 (74%), eine Hypertonie bei 14 (74%), ein lokales Ulkus bei 12 (63%), eine Infektion mit systemisch erhöhten laborchemischen Infektionsparametern bei 6 (32%), eine Adipositas bei 9 (47%), eine pAVK ohne Kompromittierung des Operationsgebietes bei 5 (26%), eine Schwielenbildung bei 5 Patienten (26%). Bei 2 (11%) wurde ein MRSA nachgewiesen, 5 hatten (26%) zusätzlich ein Trauma der Extremität erlitten, eine Neuropathie auf nicht-diabetischer Grundlage war bei 2 Patienten (11%) manifest und 1 Patient (5%) hatte zusätzlich eine Polyarthritits (Abb. 14).

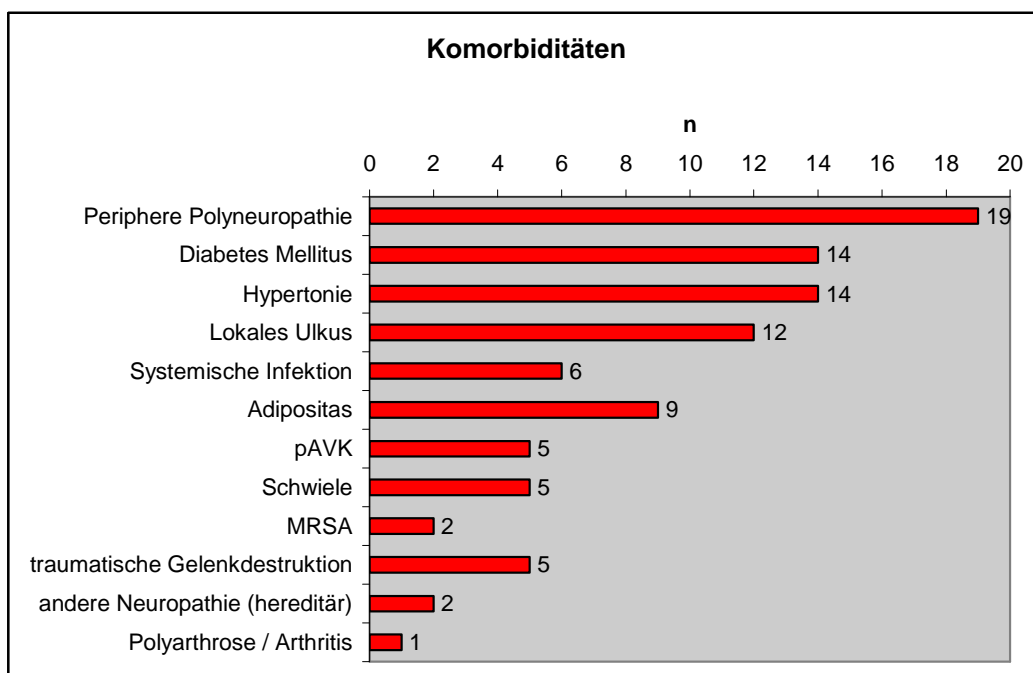


Abb. 14: Vorerkrankungen

Die Patienten waren vor der Versteifung des Rückfußes im Durchschnitt 1,1 mal (0 bis 6) voroperiert worden (Tab. 13)

	n
0	11
1	2
2	3
3	2
4	0
5	0
6	1

Tab. 13: Anzahl der Voroperationen

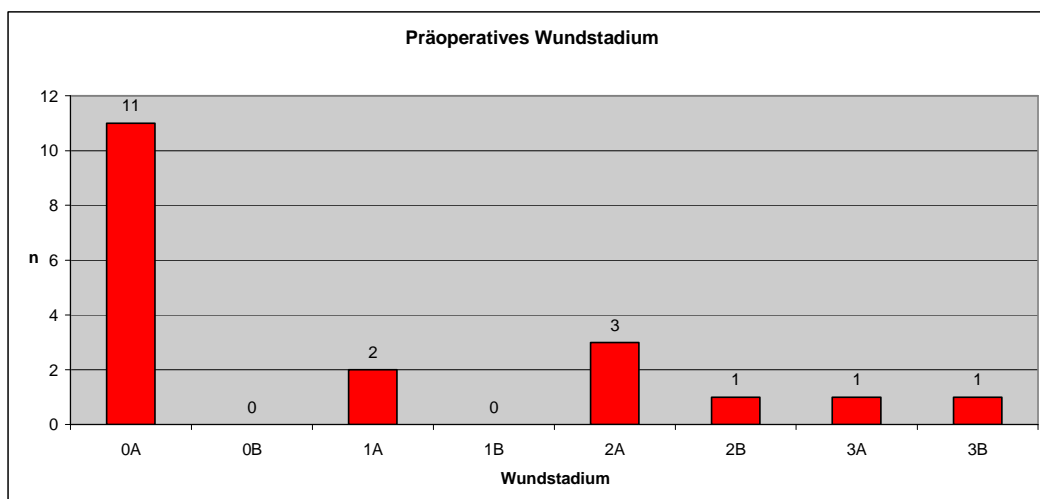
Da keines der aktuell gebräuchlichen Klassifikationssysteme alle therapie relevanten Informationen wiedergibt, verwendeten wir mehrere Systeme, um einen Vergleich mit der gängigen Literatur zu ermöglichen. Die skelettale Ausgangssituation wurde mithilfe der Systeme von Levin und Sanders beschrieben. Der Grad der vorliegenden Zerstörung ergab sich nach Levin mit 2 (11%) Patienten, die dem Stadium II (Knochen und Gelenkveränderungen; Frakturen), 15 Patienten (79%), die dem Stadium III (Fußdeformität: ggf. Plattfuß, später Wiegefuß durch Frakturen und

Gelenkzerstörungen) und 2 Patienten (11%), die dem Stadium IV (zusätzliche plantare Fußläsion) zugeordnet wurden.

Die Sanders – Klassifikation dient der Einteilung der Hauptlokalisierung der skelettalen Zerstörung. Dabei wurde kein Patient den Stadien I, II und V zugeordnet, während 7 Patienten (37%) auf Sanders III (Naviculo-cuneiformgelenk, Talo-naviculargelenk, Calcaneo-cuboidalgelenk) und 12 Patienten (63%) auf Sanders IV (Sprunggelenk) entfielen.

Die notwendige Therapie wird ebenso von der Lokalisation der skelettalen Veränderung wie auch von den vorliegenden Weichteilverhältnissen bestimmt. Daher muss auch eine Einteilung von etwaigen Wunden vorgenommen werden. Hier hat sich seit über 10 Jahren die Texas Wund Klassifikation durchgesetzt, so dass es aus Gründen der Vergleichbarkeit auch in dieser Studie angewendet wurde.

Dabei wurden 11 Patienten (58%) dem Stadium 0A (Prä- oder postulzerative Läsion), 2 (11%) dem Stadium 1A (oberflächliche Wunde), 3 Patienten (16%) dem Stadium 2A (Wunde bis zur Ebene von Sehne oder Kapsel), und jeweils 1 Patient (5%) den Stadien 2B (Wunde bis zur Ebene von Sehne oder Kapsel mit Infektion), 3A (blande Wunde bis zur Ebene von Knochen oder Gelenk) und 3B (mit Infektion) zugeordnet (Abb. 15).

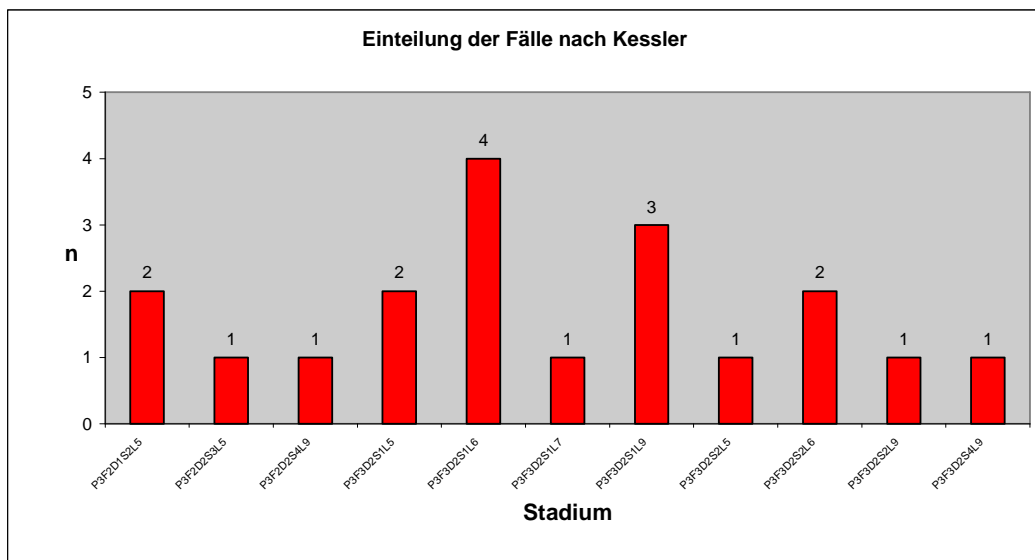


**Abb. 15: Wundstadium nach der Texas Wund Klassifikation**

Parallel wurde das Klassifikationssystem nach Kessler evaluiert, das sowohl den Grad und die Lokalisation der skelettalen, wie auch die Tiefe einer etwaigen

Weichteilläsion berücksichtigt (Tab. 6, Tab. 7, Tab. 8, Tab. 9).

Dabei mussten die Fälle 11 verschiedenen Typen zugeordnet werden. Alle Patienten wurden dem Primärstadium 3 (P3) also dem Stadium der Remineralisation zugeordnet, ohne welches eine operative Korrektur nicht in Frage kommt. Die Verteilung ist der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen (Abb. 16).



**Abb. 16: Verteilung der präoperativen Stadien nach Kessler**

Die Hauptlokalisation der Veränderungen verteilte sich gleichmäßig auf das Chopartgelenk (L5), den Talus (L6) und das obere Sprunggelenk (L9) (jeweils  $n = 6$  entsprechend 32%). Lediglich in 1 Fall (5%) war das untere Sprunggelenk betroffen.

Insgesamt führten wir 41 Operationen durch, was 2,2 Operationen pro Fall (1 - 7) entspricht (Tab. 14), wobei allein 18 Operationen (44%) auf nur drei Patienten entfallen, von denen zwei bei Studienende weiterhin instabil waren und einer nach Syme amputiert werden musste. Wenn diese Ausreißer aus der Betrachtung herausgenommen würden, ergäben sich durchschnittlich 1,4 Operationen pro Patient (Tab. 14).

	<b>n</b>
1	8
2	8
3	0
4	0
5	1
6	1
7	1

Tab. 14: Notwendige Operationen pro Patient

Auch wenn der knöcherne Durchbau nicht das unbedingte Ziel der Operation war, konnte er in 11 Fällen (58%) erreicht werden. Zusätzlich bildeten sich in 4 Fällen (21%) belastbare fibröse Pseudarthrosen aus. Somit wurde in 15 Fällen (79%) eine belastbare Situation hergestellt.

### Erstoperationen

Abhängig von der Ausgangssituation kamen dabei vier verschiedene Osteosynthesetechniken zum Einsatz (Abb. 17). Bei der Erstoperation kam die Verriegelungsarthrodese viermal, die Plattenarthrodese zweimal und die Schraubenarthrodese dreizehnmal zum Einsatz. Als Ersttechnik wurde der Fixateur externe nicht verwendet.

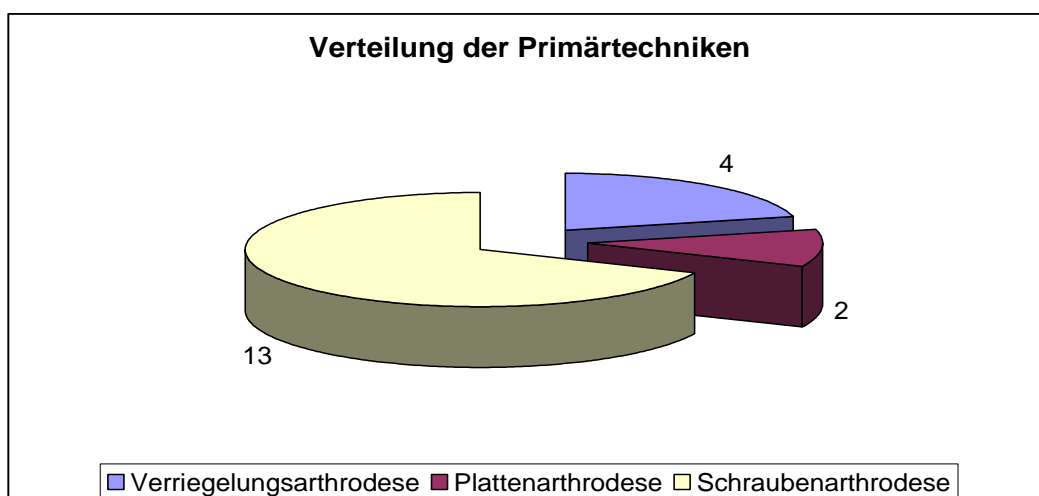
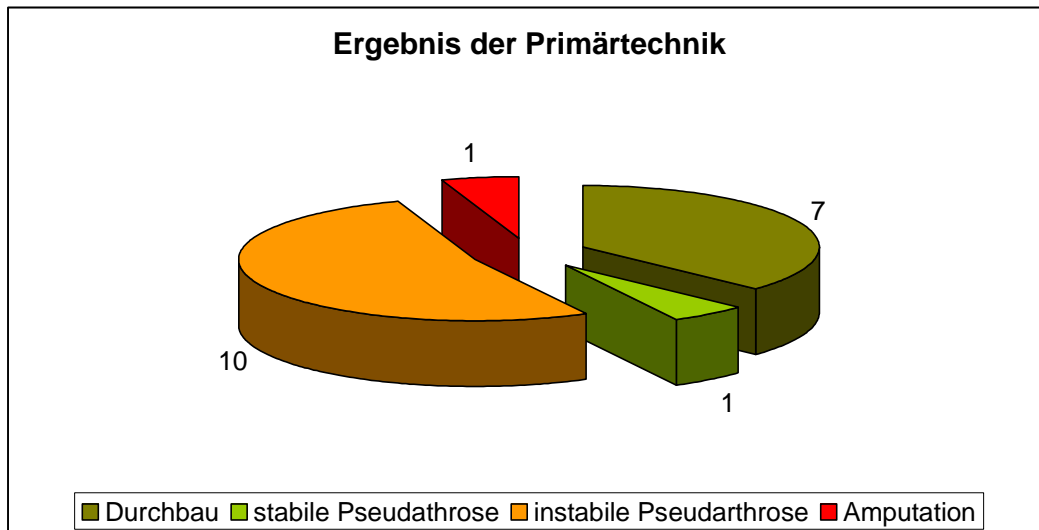


Abb. 17: Verteilung der Primärtechniken

Die Ersttechnik führte in 7 Fällen (37%) zum Durchbau, in 1 Fall (5%) zu einer stabilen Pseudarthrose, in 10 Fällen (53%) zu einer instabilen Situation und in 1 Fall (5%) wurde nach sieben Monaten auf den Wunsch des Patienten auf eine Revision verzichtet und eine Amputation nach Syme durchgeführt (Abb. 18 ).



**Abb. 18: Ergebnis der Primärtechnik**

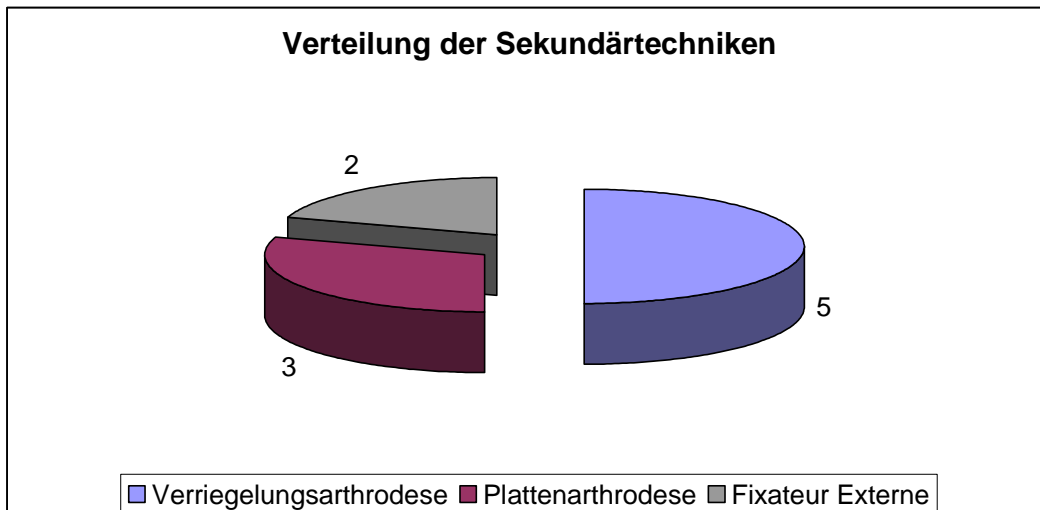
Durchbau konnte jeweils in 3 Fällen (16%) mit Verriegelungs- und Schraubenarthrodese und in 1 Fall (5%) mit Plattenarthrodese erreicht werden. Die stabile Pseudarthrose folgte auf eine Schraubenarthrodese, ebenso wie die Amputation.

### Revisionsoperationen

Revisionsbedürftige Situationen waren in jeweils 1 Fall (5%) die Folge einer Verriegelungs-, und einer Plattenarthrodese und in 8 Fällen (42%) die Folge einer Schraubenarthrodese.

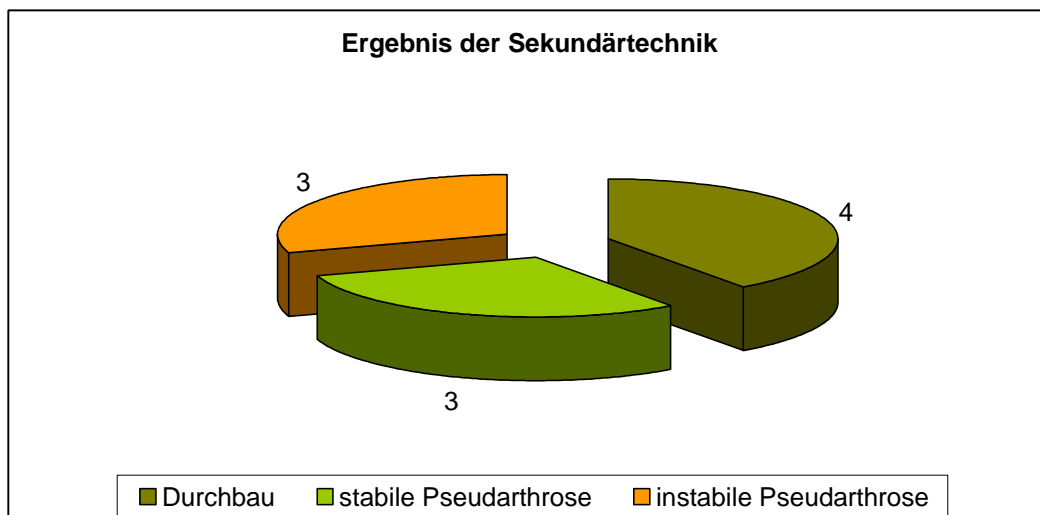
In diesen zehn Fällen wurde wegen Instabilität eine Revision durchgeführt. Dabei kamen die Techniken der Verriegelungs- und der Plattenarthrodese zum Einsatz, sowie der Fixateur externe, während auf die Schraubenarthrodese verzichtet wurde (Abb. 19).





**Abb. 19: Verteilung der Sekundärtechniken**

Das Ergebnis der Sekundärtechnik ist in folgender Grafik dargestellt (Abb. 20).



**Abb. 20: Ergebnis der Sekundärtechnik**

Durchbau konnte jeweils in 1 Fall (5%) mit Verriegelungsarthrodese und Fixateur externe und in 2 weiteren Fällen (10%) mit Plattenarthrodese erreicht werden. Jede der drei Techniken führte in jeweils 1 weiteren Fall (5%) zu einer stabilen Pseudarthrose.

Eine der drei instabilen Situationen führte nach 5 weiteren Revisionen zu einer Amputation nach Syme (18 Monate nach Erstoperation), die beiden anderen waren bei Studienende nach weiteren 3 und 4 Revisionen instabil (26 und 33 Monate nach Erstoperation).

### Ergebnisse der Schraubenarthrodese

Die Schraubenarthrodese wurde 13 mal (68%) als Primärtechnik angewandt. Als Sekundärtechnik kam sie nicht zum Einsatz. Dabei führte sie 3 mal (16%) zum knöchernen Durchbau, in 1 Fällen (5%) zur stabilen Pseudarthrose und in 1 Fall (5%) wurde auf Wunsch des Patienten von einer Revision abgesehen und eine Amputation nach Syme durchgeführt.



Abb. 21: Beispiel einer Schraubenarthrodese

### Ergebnisse der Verriegelungsarthrodese

Die Verriegelungsarthrodese wurde angewandt, wenn präoperativ kein ausgedehnter Weichteilschaden vorlag, und der Zugang zur geplanten Fusionsstelle sowohl im Sprunggelenksbereich, wie auch von plantar über unkompromittierte Weichteile möglich war. Zudem war eine vermutlich geringe postoperative Compliance eine Indikation zur Verriegelungsnagelung, da davon ausgegangen wurde, dass eine einmalige versehentliche Fehlbelastung zunächst eher zur Kompression der Arthrodese beitragen würde. Sofern diese Voraussetzungen nicht gegeben waren, kamen andere Techniken zum Einsatz.

Es wurden drei verschiedene interne Verriegelungssysteme angewandt. Alle drei Systeme wurden proximal mit zwei und distal mit jeweils drei Verriegelungsbolzen bestückt. Die Verriegelungsarthrodese wurde 4 mal (21%) als Primärtechnik und 5 mal (26%) als Sekundärtechnik bei ausbleibendem Durchbau einer zuvor versuchten Arthrodese angewendet. Zudem wurde sie weitere 4 mal (21%) als Rettungstechnik nach mehreren missglückten Arthrodese-Techniken angewandt. Als Primärtechnik führte sie 3 mal (16%) zum knöchernen Durchbau und 1 mal (5%) zur instabilen Pseudarthrose. Als Sekundärtechnik führte sie jeweils 1 mal (5%) zum Durchbau und zur Pseudarthrose. Die übrigen 3 Fälle (16%) blieben auch nach sekundärer Verriegelungsarthrodese instabil. Bei keinem der Rettungsversuche mittels Verriegelungsarthrodese konnte eine stabile Situation erreicht werden.



**Abb. 22:** Beispiel einer Verriegelungsarthrodese mit verzögertem Durchbau

### Ergebnisse der Plattenarthrodese

Bei den beschriebenen Fällen kamen 6- bis 8- Loch 4,5 DCP Platten zum Einsatz, wobei jeweils mindestens 3 Schrauben auf jeder Seite der Arthrodese verankert wurden.

Die Plattenarthrodese wurde 2 mal (10%) als Primärtechnik und 3 mal (16%) als Sekundärtechnik bei ausbleibendem Durchbau einer zuvor versuchten Arthrodese angewendet. 3 mal (16%) kam sie als Rettungstechnik nach mehreren Arthrodeseversuchen zum Einsatz.

Als Primärtechnik führte sie jeweils 1 mal (5%) zum knöchernen Durchbau und 1 mal (5%) zur instabilen Pseudarthrose. Als Sekundärtechnik führte sie 2 mal (10%) zum Durchbau und 1 mal (5%) zur instabilen Pseudarthrose. Als Rettungstechnik führte sie in allen 3 Fällen (16%) zur instabilen Pseudarthrose.



**Abb. 23: Beispiel einer Plattenarthrodese mit knöchernem Durchbau**

### Ergebnisse des Fixateur externe

Die externe Fixation kam zur Anwendung, wenn aufgrund ausgedehnter Knochenresektionen die Notwendigkeit zum sekundären Wundverschluss bestand, und die offene Wundbehandlung einen Verbleib von Osteosynthesematerial in der Tiefe der Wunde ungünstig erscheinen ließ. Zudem wurde er bei Patienten angewendet, die erwiesenermaßen eine limitierte Compliance an den Tag legten.

Der Fixateur wurde nicht als Ersttechnik angewandt. Er kam in 2 Fällen (10%) jeweils als Sekundärtechnik zum Einsatz und in 4 weiteren Fällen (21%) als Rettungstechnik nach mehreren missglückten Arthrodeseversuchen.

Als Sekundärtechnik führte der Fixateur externe in jeweils 1 Fall (5%) zum Durchbau und zur stabilen Pseudarthrose. Als Rettungstechnik konnte in keinem Fall eine stabile Situation hergestellt werden. In einem Fall wurde eine Amputation nach Syme durchgeführt.

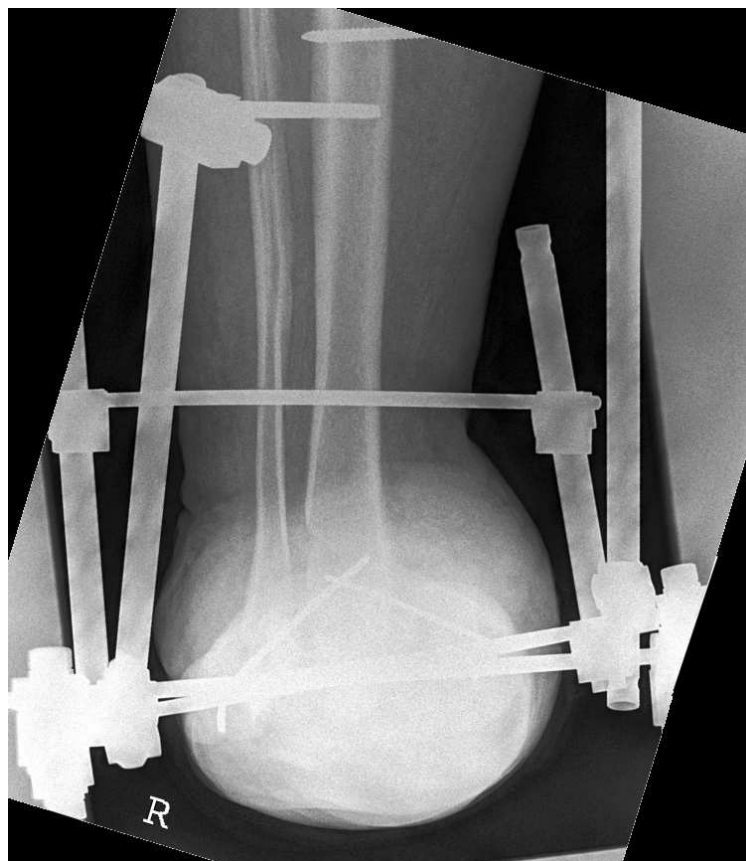


Abb. 24: Beispiel einer Stabilisierung mit Fixateur extern

## **Amputationen**

Zwei Amputationen wurden im Durchschnitt 12,5 Monate nach dem Ersteingriff durchgeführt. Die erste Amputation erfolgte nach eingehender Rücksprache auf den Wunsch des Patienten, der eine Revision ablehnte. Im zweiten Fall waren die rekonstruktiven Optionen nach insgesamt 7 Stabilisierungsversuchen erschöpft. Beide Amputationen erfolgten in der Technik nach Syme.

## **Methicillin Resistenter Staphylokokkus Aureus (MRSA)**

In der untersuchten Gruppe wurde bei 2 Patienten (11%) ein MRSA nachgewiesen. In einem Fall konnte eine stabile Pseudarthrose erreicht werden, im zweiten Fall war die Situation bei Studienende weiterhin instabil. Bei beiden Patienten kam bei dem Arthrodeseversuch jeweils ein Fixateur externe zum Einsatz.

Zusätzlich zur Isolation wurden die Patienten standardisierten Waschungen unterzogen (Lavasept Mundreinigung, Haarwäsche mit Octenisan, Turixin Nasensalbe und tägliche Wäschewechsel), um eine weitere Verbreitung des Keimes zu verhindern. Es kamen keine topischen Antibiotika im Wundbereich zum Einsatz.

## 4 Diskussion

Rückfußversteifungen werden bereits seit Anfang des vorigen Jahrhunderts vorgenommen. Die frühesten Beschreibungen gehen auf Lexer (1906) und Albee (1915) zurück [76, 1]. Beide versuchten die Arthrodeese mit retrograd implantierten Kadaverknochen zu stabilisieren. Auch wenn die Ergebnisse aus heutiger Sicht vorhersehbar sind, waren diese Versuche zu ihrer Zeit spektakulär. Obwohl seitdem über 100 Jahre vergangen sind, besteht keine Einigkeit über die Methode der Wahl, wie eine Rückfußversteifung vorgenommen werden soll.

Rückfußversteifungen bei nicht Neuropathikern - etwa nach Trauma oder Arthrose - weisen unabhängig von der verwendeten Technik, eine Erfolgsquote von annähernd 100 Prozent auf [1].

Sofern Versteifungen auf dem Boden von Neuropathie oder Arthritiden vorgenommen werden (keine Weichteilläsion), zeigen sich Durchbauraten von 74 - 88% [18, 87]. Somit scheinen eingeschränkte Neurologie und entzündliche, wie auch nicht entzündliche Gelenkveränderungen anders als degenerative Veränderungen einen negativen Einfluss auf das operative Ergebnis zu haben.

Richter und Hahn beschreiben bei 50 Patienten, die nach einer infizierten Osteosynthese einer Rückfußversteifung unterzogen wurden, eine Durchbaurate von 88 Prozent unter Anwendung von gleichzeitiger interner und externer Fixation [104]. Hierunter waren 4 Patienten mit peripherer Neuropathie.

Auch heute noch ist die Ansicht verbreitet, dass Charcot Veränderungen im Rückfuß nicht operativ stabilisiert werden können.

Während also in der Literatur unterschiedliche Verfahren angegeben werden, wie Charcot Osteolysen im Sprunggelenk und Rückfuß zu behandeln sind, wenn keine Infektion vorliegt, sind nur Einzelberichte bekannt, in denen infizierte Charcot Osteolysen erfolgreich behandelt wurden.

Jedoch sind Patienten mit tiefen Weichteilläsionen und freiliegenden Skelettanteilen keine Seltenheit, weshalb auch hierfür standardisierte Therapieoptionen gefunden werden müssen. Häufig berichten Patienten bei der Erstvorstellung davon, dass auswärts die Amputation der betroffenen Extremität angeraten wurde, teilweise sogar ohne Notfallindikation, da die Instabilität und Deformität als irreversibel und unbehandelbar angesehen wurde.

Ziel der Studie war es, herauszufinden, in welchen Fällen ein Fußerhalt sinnvoll ist, welche Voraussetzungen dafür erfüllt sein müssen und welche Operationsverfahren sich als geeignet erweisen.

In einem Zeitraum von 6 Jahren (01/2001 bis 12/2006) wurden 19 Patienten mit neuropathischer Osteoarthropathie des Rückfußes operativ behandelt und verschiedene Operationen vorgenommen, um die betroffene Extremität zu erhalten. Majoramputationen mussten in 2 Fällen (10%) bei nicht beherrschbarer Infektion vorgenommen werden. Bei drohender Sepsis wurde die Extremität soweit distal wie möglich amputiert, um das Leben des Patienten nicht zu gefährden. Im Vergleich mit anderen Studien kann dies als günstiges Ergebnis angesehen werden, weil von einer Amputationsempfehlung der Überweiser von 50% auszugehen ist.

Aufgrund der unterschiedlichen Ausgangssituationen, was Lokalisation und Ausdehnung des Schadens angeht, war eine präoperative Randomisierung nicht möglich, so dass ein Vergleich der Arthrodesetechniken nicht direkt möglich ist. Neben den kognitiven Fähigkeiten, der Krankheitseinsicht und der körperlichen und psychischen Verfassung ging die Persönlichkeit des Patienten ebenfalls wesentlich in die Entscheidung über das Stabilisierungsverfahren ein.

#### **4.1 Die klinische Relevanz der Klassifikationssysteme**

Ein großes Problem bei der neuropathischen Osteoarthropathie ist die fehlende Einheitlichkeit bei der Beschreibung der Ausgangszustände und der postoperativen Ergebnisse. Aus diesem Grund war es ein Ziel der Studie, herauszufinden, ob eines der Klassifikationssysteme den Operateur in die Lage versetzt, eine valide Prognose zu stellen.

Obwohl die Klassifikation nach Schon die weiteste Verbreitung hat, wurde in dieser Studie eine Einteilung nach Schon nicht durchgeführt, weil hierbei die Veränderungen im Rückfuß nicht ausreichend berücksichtigt werden.

Ebenso haben die Klassifikationen nach Levin und Sanders Limitationen bei der Beschreibung von Rückfußveränderungen. Da sie allerdings derzeit Teil des von der Deutschen Diabetes Gesellschaft empfohlenen standardisierten Fußerhebungsbogens sind, wurde sie hier angewandt (Tab. 3, Tab. 4).

Die Klassifikation nach Levin wurde hauptsächlich zur Beschreibung von



Mittelfußeinbrüchen entwickelt, was darin zum Ausdruck kommt, dass das schwerste Stadium attestiert wird, wenn es durch den Einbruch des Fußlängsgewölbes zur Ausbildung eines Tintenlöscherfußes gekommen ist, was für die aktuelle Arbeit am Rückfuß irrelevant ist.

Die Einteilung nach Sanders erlaubt eine genauere Unterteilung der Veränderungen im Rückfußbereich und macht damit einen Vergleich von Ausgangssituation und Ergebnis des Studienkollektivs möglich.

In keiner der bisherigen Klassifikationen wird die Weichteilsituation erfasst, so dass bei alleiniger Anwendung der morphologischen Klassifikationssysteme kein Hinweis darauf besteht, dass über die Hälfte der Fälle (63%) eine Weichteilläsion vorlag. Die klassische Chirurgie versucht, knochenchirurgische Eingriffe bei Vorliegen von Weichteilläsionen zu vermeiden. Insbesondere wenn eine Kontamination oder Keimbesiedlung der Wunde offensichtlich ist, wird von ossären Eingriffen abgeraten.

Das Risiko einer Infektausbreitung und einer Osteitis und Osteomyelitis ist bei Kontamination einer Wunde im Operationsgebiet erhöht. Diese Eingriffe sind beim diabetischen Fuß jedoch häufig unabdingbar, um durch druckreduzierende Umstellungsoperationen, Exostosenabtragungen oder Resektionen ein Abheilen der Hautläsionen zu erreichen [134].

Interessante Aspekte ergeben sich bei der Einteilung der Patienten in zwei Gruppen je nach präoperativem Wundstadium in kleiner 2 (nach Texas Wund Klassifikation - keine oder oberflächliche Wunde) und größer und gleich 2 (Wunde bis zur Ebene von Sehne, Kapsel oder Knochen) (Tab. 5). Dabei zeigt sich folgendes Verteilungsmuster in Bezug auf das Ergebnis (Tab. 15):

	Wundstadium < 2 n = 13	Wundstadium >= 2 n = 6
Durchbau	46% n=6	83% n=5
Pseudarthrose	38% n=5	17% n=1
Amputation	15% n=2	0% n=0

Tab. 15: Erfolg nach präoperativem Wundstadium

Es erscheint widersinnig, dass das Ergebnis bei ungünstigerer Wund-Ausgangssituation besser ist - zumindest was den Durchbau anbelangt. Eine gute Erklärung für die gefundenen Daten konnten wir nicht ausmachen. Es erscheint jedoch möglich, dass Patienten deren Risiko höher eingestuft wurde, besser vorbereitet wurden und engmaschiger nachkontrolliert wurden.

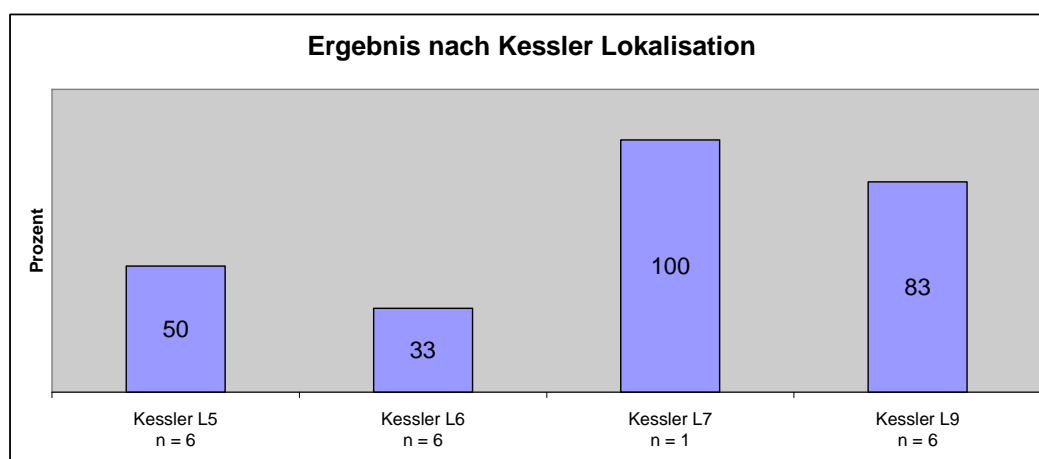
Auf jeden Fall lässt dieses Ergebnis den Schluss zu, dass auch eine tiefe Wunde bis auf Gelenkniveau keine Kontraindikation für einen Rekonstruktionsversuch darstellt.

Somit kann erst unter Einbeziehung der Wundklassifikation nach Wagner-Armstrong (= Texas Wound Classification) das volle Ausmaß der Problematik erfasst werden (Tab. 5). Überraschenderweise zeigt sich bei der Auswertung eine Tendenz zum besseren Ergebnis bei präoperativ höherem Wundstadium. Da eine größere Wunde und eine ausgedehntere Infektion einer tiefen Wunde nicht mit einem besseren

Ergebnis assoziiert sein können, ist davon auszugehen, dass es sich hierbei um einen Zufallsbefund handelt.

Die Klassifikation nach Kessler beinhaltet neben der Beschreibung der knöchernen Veränderungen auch die Weichteilsituation. Ein Ziel der Studie war herauszufinden, ob durch das Zusammenfassen aller Weichteil- und bessere prognostische Aussagen möglich sind. Hierbei ist hervorzuheben, dass nur Patienten eingeschlossen wurden, die sich im Primärveränderungs-Stadium 3 (P3 = Remineralisierung) befanden, da ohne ausreichende Remineralisierung eine operative Korrektur nicht möglich ist.

Unterschiede zeigen sich bei den Ergebnissen der vorliegenden Studie im Fraktur-Stadium (F), Dislokations-Stadium (D) und Weichteil-Stadium (S) (siehe Tab. 6 - Tab. 10). Während sich - möglicherweise aufgrund der geringen Patientenzahl - keine Auffälligkeiten bei Betrachtung von Fraktur- Dislokations- und Weichteilstadium ermitteln ließen, zeigte sich, ebenso wie bei der Betrachtung der Sanders Klassifikation, eine Tendenz zum besseren Ergebnis bei proximalerer Charcot Hauptveränderung (Abb. 25).



**Abb. 25: Durchbaurate bei Lokalisation nach Kessler**

Die alleinige Destruktion des oberen Sprunggelenkes (L9) ist also möglicherweise eine günstige Voraussetzung für eine erfolgreiche Arthrodesen. Es ist hierbei zu erwähnen, dass die Versteifung eines einzelnen Gelenkes technisch einfacher ist, als eine Arthrodesen mehrerer Gelenke, die miteinander in Verbindung stehen.

Bei der Aufschlüsselung der Ergebnisse nach Lokalisation zeigt sich eine deutliche Tendenz für eine höhere knöchernen Durchbaurate der Fusionsstelle wenn die stärksten Knochenveränderungen proximal der Chopart Linie liegen (= Stadium nach Sanders > 3) (Tab. 4 und Tab. 16).

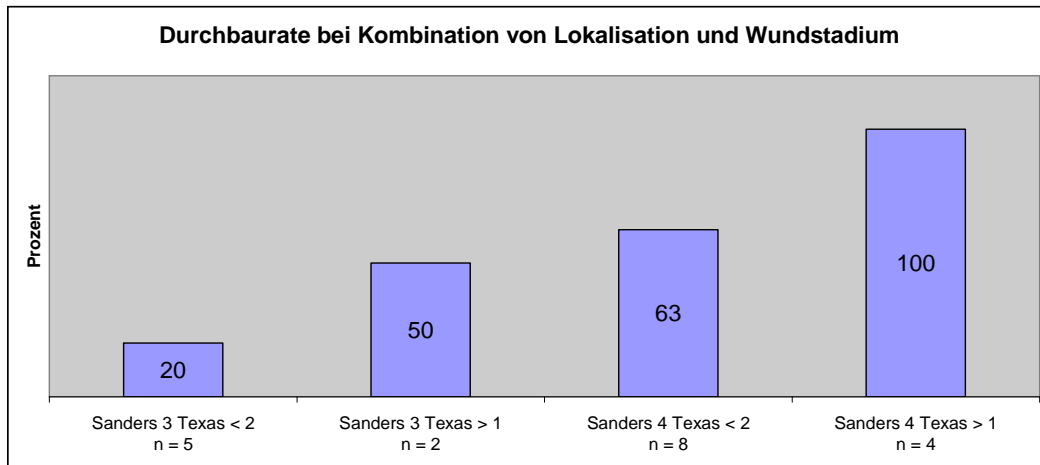
	Sanders = 3 n = 7	Sanders = 4 n = 12
Durchbau	29% n=2	75% n=9
Pseudarthrose	57% n=4	17% n=2
Amputation	14% n=1	8% n=1

Tab. 16: Ergebnis aufgeschlüsselt nach knöcherner Primärveränderung

Deutlicher ist dieser Effekt sogar, wenn die Lokalisation nach der Klassifikation nach Kessler aufgeschlüsselt wird. Dabei zeigt sich eine 83% Durchbaurate bei Hauptlokalisation der Charcot Veränderungen im oberen Sprunggelenk (L9).

Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass auch bei Fehlbelastung geringere Hebelkräfte auf die Arthrodesen wirken. Zudem ist leichter eine gute Kongruenz der Fusionspartner zu erreichen. Nicht zuletzt dürfte sich der axiale Druck bei Belastung günstig auf die knöcherne Durchbauung auswirken.

Bei Kombination von Lokalisation und Wundstadium zeigt sich eine Tendenz zu einer höheren Durchbaurate, wenn die Charcot Hauptveränderung proximal der Chopart Linie ist und die Wunde tiefer (Abb. 26).



**Abb. 26: Ergebnis bei Kombination von Lokalisation und Wundstadium**

Da abgelehnt werden muss, dass eine schlechtere Wundsituation per se ein besseres Ergebnis einher bringt, liegt der Gedanke nahe, dass Patienten mit schlechteren Wundverhältnissen in Erwartung von Komplikationen eine bessere Vor- und Nachbehandlung zuteil wurde.

In der Zusammenschau war keine der angewendeten Klassifikationen retrospektiv in der Lage, das Outcome sicher vorherzusagen. Insbesondere fand sich keine Möglichkeit, die später amputierten Fälle im Vorfeld von den anderen Fällen abzugrenzen.

Die Auswertung nach präoperativem Wundstadium (weder Texas Wundklassifikation noch nach Kessler) ergab nicht die Möglichkeit die Entwicklung einer Pseudarthrose oder Amputation sicher vorherzusagen. Ebenso gelang dies nicht für die Klassifikationen nach Levin und Sanders.

Diese Beobachtungen müssen dazu auffordern, durch weitere Untersuchungen unter Anwendung einheitlicher Klassifikationssysteme eine solide Datenbasis zu schaffen, auf deren Grundlage therapeutische Entscheidungen getroffen werden können.

## **4.2 Betrachtung der unterschiedlichen Techniken**

Da initial keine Erfahrung vorlag, welche Stabilisierungstechniken in Betracht kommen, wurde präoperativ kein einheitliches Behandlungsschema festgelegt. Die Studie diente dazu herauszufinden, welche Arthrodesetechniken grundsätzlich in Betracht kommen. Die im folgenden genannten Daten können nicht zum Vergleich der Techniken untereinander herangezogen werden, da die Patienten nicht zufällig den Verfahren zugeführt wurden, sondern je nach individueller Ausgangssituation das erfolversprechendste Verfahren ausgewählt wurde.

Entsprechend sind die Daten aus der Literatur uneinheitlich, was die günstigste Technik für eine Rückfuß-Stabilisierung betrifft. Die wenigen biomechanischen Studien bescheinigen der Verriegelungstechnik eine höhere Primärsteifigkeit als der Schraubenarthrodese und der Winkelplattenarthrodese eine höhere Primärsteifigkeit als der Verriegelungstechnik [10] [27].

Bei der Auswertung fällt auf, dass in 12 von 19 Fällen die Ersttechnik nicht zum Durchbau führte. Dies entspricht einem fehlenden Durchbau von ca. 63%. Bei der Einzelbetrachtung der Techniken wurde daher darauf geachtet, die Ursachen für das Versagen zu analysieren.

### **4.2.1 Beobachtungen bei der Schraubenarthrodese**

Die Schraubenosteosynthese hat eine lange, erfolgreiche Historie bei der Anwendung beim Nicht-Neuropathiker, Angaben zur ausschließlichen Anwendung bei neuropathischen Patienten finden sich nicht. Die Autoren berichten über Fusionsraten von 86% bis 100% und Amputationsraten von bis zu 2% bei Nicht-Neuropathikern [52, 56, 72]. Diese positiven Daten und die Möglichkeit der gezielten Positionierung der Implantate war die Grundlage für die tibiocalcanearen Versteifung im neuropathischen Patientengut mit Schrauben.

Bei der intraoperativen Prüfung der Arthrodese zeigt die Schraubenarthrodese eine hohe Festigkeit und insbesondere Torsionsstabilität. Allerdings erfordert die Technik einen erfahrenen Operateur, da nur begrenzte Möglichkeiten zur Schraubenplatzierung bestehen. Aus diesem Grund kam die Schraubenarthrodese nicht als Sekundärtechnik zum Einsatz.

Als ungünstig hat sich in drei Fällen eine einseitige Einbringung der Schrauben von lateral erwiesen, da dabei auch bei überkreuzter Verwendung von drei Großfragment Schrauben nicht genug Kompressionsdruck auf die Arthrodesen erzeugt werden konnte, um Fehlbelastung abzufangen. In einem Fall wurde zudem erst postoperativ die Fehllage einer Schraube erkannt, so dass die Arthrodesen nur von 2 Schrauben überspannt war.

In zwei weiteren Fällen war die versehentliche Fehlbelastung durch die Patienten Ursache des Versagens der Technik, in einem Fall trat als Komplikation eine proximale Anschlussfraktur im Bereich der distalen Tibia auf.

Das Versagen der Technik nach Fehlbelastung zeigt die Anfälligkeit der Technik bei Neuropathikern. Aus diesem Grunde sind unzuverlässige Patienten, wie sie bei einer fortgeschrittenen Charcot Erkrankung nicht selten sind, für Schraubenosteosynthesen ungeeignet. Dasselbe gilt für Patienten, mit schlechtem Allgemeinzustand und schwerwiegenden Begleiterkrankungen, wie Dialyse oder KHK.

#### **4.2.2 Beobachtungen bei der Verriegelungsarthrodesen**

Der Literaturvergleich bescheinigt der Verriegelungsnagelung Fusionsraten von 71% bis 100% auch bei Anwendung beim neuropathischen Patienten, Amputationsraten von bis zu 7% und eine perioperative Mortalität von bis zu 5% [18, 34, 76, 87, 91, 98]. Die Ergebnisse sind noch deutlich besser, wenn die Technik an nicht neuropathischen Patienten angewandt wird. Im vorliegenden Patientengut kam die Verriegelungsnagelung vornehmlich zum Einsatz, wenn eine tibio-talo-calcaneare Fusion vorgenommen werden sollte, die Versteifung also unter Taluserhalt durchgeführt wurde.

Es wurden drei verschiedene Verriegelungssysteme angewendet, wobei es bei einem System aufgrund der obliquen Einbringung der distalen Bolzen notwendig war, das angrenzende calcaneo-cuboidal Gelenk mitzuerfassen, um eine sichere Verankerung des Implantats zu gewährleisten.

Guter knöchernen Halt ohne Einbeziehung der Nachbargelenke zeigte sich bei der Verwendung des Versanails der Firma Depuy, da bei diesem System die distale Verriegelung von dorsal, in sagittaler Bohrrichtung, durchgeführt wird. Dadurch ließ



sich regelhaft die gesamte Länge des Calcaneus zur Verankerung heranziehen.

In drei von vier Fällen (75%) führte die Verriegelungstechnik als Ersttechnik zum Durchbau, in einem Fall jedoch war die Ersttechnik mit Verriegelungsnagel nicht erfolgreich. Dabei hatte sich oberhalb des Nagels in der Markhöhle – vermutlich infolge der Aufbohrung – ein Knochenbalkon gebildet, der die Dynamisierung des Nagels verhinderte, so dass die Kompression der Arthrodesenteile ausblieb.

Bei der Anwendung als Sekundärtechnik konnte in 2 von 5 Fällen (40%) eine stabile Situation erreicht werden, was zum einen auf unerlaubte Fehlbelastung, zum anderen auf die ungünstige Ausgangssituation zurückzuführen ist.

Insgesamt lässt sich summieren, dass die Verriegelungstechnik als Ersttechnik auch beim neuropathischen Patienten gut geeignet ist. Als günstig hat sich ein System erwiesen, bei dem die distale Verriegelung in sagittaler Richtung eingebracht werden kann, da hierbei der beste knöcherne Halt erreicht wird (Versanail). Ansonsten erscheinen die Arthrodesenägel weitgehend gleichwertig.

#### **4.2.3 Beobachtungen bei der Plattenarthrodese**

Grundlage für die Versteifung mittels Platten waren die guten Ergebnisse von Myerson und Richter bei der Anwendung von Plattenosteosynthesen bei Neuropathikern. Die Autoren berichteten dabei von Fusionsraten von 55% bis 100% und Amputationsraten von bis zu 2% [82, 104, 123].

Als technisch schwierig erwies sich die Anmodellierung der Platten. Insbesondere wenn nur wenig Knochenmaterial vom Calcaneus verblieben war. Dabei war eine besondere Herausforderung die Unterbringung von mindestens drei distalen Schrauben, um einen ausreichenden Halt der Platte zu gewährleisten.

Als Ersttechnik wurde die Plattenosteosynthese zweimal eingesetzt. Dabei wurde in einem Fall ein knöcherner Durchbau erreicht. Im anderen Fall kam es infolge von Fehlbelastung zu einer Infektion mit nachfolgender Pseudarthrose. Möglicherweise wirkte sich hier eine Jahre zuvor als geheilt betrachtete Mittelfuß-Osteomyelitis ungünstig aus.

Als Sekundärtechnik erwies sich die Plattenosteosynthese als gut geeignet. In allen drei Fällen konnte eine stabile Situation hergestellt werden. In zwei der drei Fälle

(66%) sogar knöcherner Durchbau.

Die Ergebnisse anderer Arbeitsgruppen mit hohen Durchbauraten, insbesondere auch bei zum Teil neuropathischem Patientengut, legen nahe, diese Technik weiter zu verfolgen [1], [89].

#### 4.2.4 Beobachtungen beim Fixateur externe

Der Fixateur externe (AO-Fixateur als Dreieck-Konstruktion mit jeweils einem Steinmann Nagel durch den Kalkaneus und den Vorfuß und doppelter Verankerung mit Schanz-Schrauben in der distalen Tibia) kam nicht als Ersttechnik zum Einsatz. Da eine postoperative Teilbelastung aufgrund der Neuropathie nicht in Frage kam, erschien die Anwendung einer internen Fixation mit der Möglichkeit der direkten Kompression der Arthrodesen erfolgversprechender. Arbeiten anderer Arbeitsgruppen stützten die Hypothese, dass eine stabile Pseudarthrose erreicht werden kann, der knöcherne Durchbau bei Verwendung eines äußeren Spanners jedoch eher die Ausnahme ist. Die Erfolgsraten im Hinblick auf eine stabile Situation (nicht knöcherner Durchbau) werden mit 38% bis 87% angegeben bei Amputationsraten von bis zu 5% [67, 84, 104, 123].

Bei den 2 Anwendungen des Fixateur externe als Sekundärtechnik nach vorausgegangenem erfolglosem Arthrodeseversuch konnte in beiden Fällen eine stabile Situation hergestellt werden, in einem Fall konnte ein knöcherner Durchbau erreicht werden.

Der Fixateur externe kam bei Rettungsversuchen jeweils noch einmal nach vorangegangenen erfolglosen Arthrodeseversuchen zum Einsatz. Die Technik war dabei aber ebenso wenig in der Lage, dauerhaft eine stabile Situation herbeizuführen, was nicht als Versagen dieser spezifischen Technik ausgelegt werden kann, sondern eher der desolaten Ausgangssituation zugeschrieben werden muss.

Eine neuere Arbeit berichtet von günstigen Eigenschaften des Fixateur externe [48]. Die häufigsten Komplikationen sind oberflächliche Irritationen oder Infektionen der Haut, die in der Regel mit lokaler Wundversorgung und systemischer Antibiotika Therapie unter Kontrolle gebracht werden können [32, 120, 134].

#### 4.2.5 Betrachtung von Erst- und Folgetechniken

Trotz sorgfältigster Vorbereitung hatten die Arthrodesen eine hohe Komplikationsrate. Das Studiendesign lässt keinen Vergleich der Techniken untereinander zu. Ebenso wenig ist ein Vergleich von Primär- und Sekundärtechnik zulässig oder sinnvoll.

Über alle gemittelt, wurde jeder Patient 2,2 Operationen unterzogen. Korrigiert man dies durch streichen der beiden Ausreißer (6 und 7 Operationen), so ergibt sich eine mittlere Operationszahl von 1,6 pro Patient.

Der Hauptteil der erfolgreichen Arthrodesen (8 von 11 - 7 mal knöcherner Durchbau und 1 mal eine stabile Pseudarthrose) wurde mit der Primärtechnik erreicht. Jedoch konnte auch mit der Sekundärtechnik noch in 7 weiteren Fällen eine stabile Situation erreicht werden (4 mal knöcherner Durchbau und 3 mal eine stabile Pseudarthrose). Auffällig bei der Nachuntersuchung des Patientengutes war jedoch, dass bei keinem Patienten eine stabile Situation erreicht werden konnte, der mehr als zwei Operationsverfahren unterzogen worden war, was mit hoher Wahrscheinlichkeit an fehlender Entlastung lag.

Während es trotz des hohen Aufwandes also durchaus gerechtfertigt erscheint, eine einmalige Revision (auch mit Verfahrenswechsel) vorzunehmen, muss die Indikation zu mehr als einer Revision streng gestellt werden.

### 4.3 Therapeutische Grundsätze

Die Nachuntersuchung der Ergebnisse von 19 Rückfußarthrodesen hat zu folgendem Konzept der Behandlung geführt:

1. Die Prophylaxe im Stadium der Ödembildung und der beginnenden Frakturierung zur Vermeidung von Fehlstellungen hat oberste Priorität. Eine Korrektur der Fehlstellung und der Instabilität sowie eine etwaige Infektsanierung sind langwierig, mühevoll und risikoreich für den Patienten. Operationen sind erst indiziert, wenn es durch Knochenveränderungen zu sekundären Fehlstellungen gekommen ist, die zum einen ein hohes Ulkusrisiko mit sich bringen und zum anderen nach Ausreizen aller konservativen Maßnahmen nicht mehr korrigiert werden können. Läsionen der Haut oder gar tiefe Infektionen sind sofort mit chirurgischen Maßnahmen anzugehen. Eine alleinige antibiotische Therapie kann eine Infektion nicht immer sanieren.
2. In die Entscheidung, ob eine rekonstruktive Maßnahme durchgeführt werden kann, müssen die allgemeinen, körperlichen Voraussetzungen mit einfließen. So verhindert ein erhebliches Übergewicht die adäquate Entlastung der operierten Extremität. Auch in der untersuchten Patientengruppe waren 47% adipös (n = 9). Schwere Erkrankungen, die mit einer schweren körperlichen Einschränkung einhergehen, beeinflussen das Ergebnis ungünstig. Besonders sind dabei die koronare Herzkrankheit, Immunsuppression und schlecht eingestellte Stoffwechsellage zu nennen. Auch eine ungünstige häuslich-sozialen Umgebung, lässt eine sichere Entlastung der Extremität nicht zu. Beengte räumliche Verhältnisse und mangelnde hygienische Voraussetzungen beeinträchtigen das Outcome, indem sie beispielsweise das männliche Geschlecht eher eine Tendenz zu Pininfektionen führen können [134]. Allein lebende Patienten sind häufig nicht in der Lage, kontinuierlich und zuverlässig zu entlasten. In solchen Fällen ist eine Anschlussheilbehandlung im Anschluss an den rekonstruktiven Eingriff notwendig.
3. Eine herausragende Bedeutung für das Ergebnis nach operativer Verorgung hat die Compliance des Patienten. Schon die Grunderkrankung wird von ca. 30% aller Diabetiker ignoriert, wodurch es bei diesen Patienten in der Folge zu ausgeprägter Osteoarthropathie kommt [30]. Es ist also davon auszugehen,

dass der Anteil incomplianter Patienten in der untersuchten Population deutlich höher ist. Schon bei weniger aufwändigen Maßnahmen, beispielsweise zur Wundheilung zeigen die Patienten eine stark eingeschränkte Compliance [8, 14, 88, 99, 128, 133]. Unglücklicherweise gibt es kein Hilfsmittel, mit Hilfe dessen die zu erwartende postoperative Compliance gemessen werden kann. Hinzu kommt die periphere Neuropathie, die es auch den willigen Patienten erschwert, sich an die Nachsorgeanweisungen zu halten. Die erforderliche Vollentlastung über die gesamte Heilungsdauer verlängert durch den fehlenden Knochendruck den Heilungsverlauf. So kommt es, dass ein knöcherner Durchbau mehrere Monate dauern kann, was regelhaft mit einer deutlichen Osteopenie einhergeht und ein langsames Aufbelasten erforderlich macht [57]. Sofern Zweifel an der postoperativen Compliance bestehen, sollte von einer rekonstruktiven Maßnahme abgesehen werden und eher eine primäre Amputation erwogen werden.

4. Patienten mit blanden Weichteilverhältnissen können in aller Regel in einem einzeitigen Verfahren versteift werden. Sofern eine infizierte Wunde vorliegt, muss zunächst eine gezielte Sanierung erfolgen. Dabei müssen sämtliche infizierten und nekrotischen Areale radikal abgetragen werden, was oft mehrere Debridierungen erfordert. Erst nach Sanierung kann ein geeignetes Rekonstruktionsverfahren bestimmt werden. Sofern der Calcaneus oder die Tibiametaphyse weitgehend aufgebraucht sind, ist ein rekonstruktives Verfahren nicht mehr möglich. In diesen Fällen sollte eine Amputation angestrebt werden. Mitunter erweist es sich als günstig, das makroskopisch sanierte Gewebe zusätzlich noch durch VAC-Therapie zu konditionieren, um die bestmöglichen Voraussetzungen für die Stabilisierung zu erreichen. Die chirurgischen Eingriffe erfolgen zunächst unter kalkulierter und im weiteren unter resistenzgerechter antibiotischer Therapie, sowie unter vollständiger Entlastung.
5. Erst wenn klinisch und laborchemisch keine Infektion mehr vorhanden ist, wird die Rekonstruktion vorgenommen.
6. Die korrekte Einstellung der Fusionspartner, vor allem die Vermeidung einer Varus- oder Valgusfehlstellung, bzw. Vermeidung einer zu steilen oder zu

flachen Einstellung des Calcaneus in der sagittalen Ebene, ist von besonderer Bedeutung. Bei jedem Verfahren können Komplikationen auftreten, die schon in der Literatur beschrieben sind:

- Spontanfrakturen an Löchern von Verriegelungsarthrodesen, am proximalen Rand von Plattenosteosynthesen, sowie am Bohrkanal eines Fixateur externe
  - Ausreißen von Schrauben im weichen Knochen
  - Oberflächliche und tiefe Pininfektionen beim Fixateur externe
  - Tibiale Spontanfrakturen, bei hoher Fibularesektion
  - Verzögerter oder ausbleibender Durchbau bei früher Fehlbelastung oder ungenügendem Knochenkontakt der Fusionspartner
7. Eine offene Nachbehandlung bei vorausgegangenem Infekt hat sich als günstig erwiesen. Es kommt weniger häufig zu Seromen und Infektionsrezidiven. Zum temporären Weichteilverschluss und zur Begünstigung des Sekrettransportes bietet sich die VAC-Therapie an. Im Verlauf können die Weichteile entweder durch Sekundärnaht oder durch Spalthaut verschlossen werden.
8. Die Nachbehandlung ist möglicherweise die größte Herausforderung bei der Rekonstruktion der neuropathischen Osteoarthropathie. Während die bisher beschriebenen Schritte direkt beeinflusst werden können, ist der Patient ab hier eigenverantwortlich. Während es einerseits Patienten gibt, die eine Fehlbelastung der Fusionsstelle zuverlässig vermeiden, gibt es andere, die selbst unter stationären Rehabilitationsbedingungen mehrfach Materialbrüche erwirken, ohne sich einer Belastung bewusst zu sein. Dabei ist die konsequente Entlastung bis zum stabilen Durchbau oder zur Ausbildung einer straffen Pseudarthrose die entscheidende Voraussetzung. Die Erfahrung zeigt, dass Patienten, die sich die Notwendigkeit der Entlastung nicht vergegenwärtigen können, mit keiner der bisher angewandten Entlastungstechniken ausreichend gegen Fehlbelastung geschützt werden können. Bei Patienten, die lediglich geringe körperliche Einschränkungen zu überwinden haben, können mit einem Rollstuhl nachbehandelt werden. Für zuverlässige Patienten bietet sich die individuell gefertigte

Unterschenkelorthese an. Hierbei wird durch die Lastübertragung auf den Tibiakopf der Fuß entlastet. Der korrekte Sitz der Orthese – also das Freihängen der Ferse – muss kontrolliert werden.

9. Die radiologische Kontrolle des Durchbaus sollte mittels Computertomografie erfolgen und ist frühestens nach 8 Wochen sinnvoll. Konventionelle Röntgenaufnahmen sind geeignet etwaige Komplikationen wie zum Beispiel Materialbruch oder Lockerung nachzuweisen. Klinische Kontrollen sollten engmaschig erfolgen und bei Zweifeln an der Patientencompliance durch eine Bildgebung ergänzt werden. Routine Röntgenkontrollen sollten nach weiteren 6 und 12 Monaten erfolgen.
10. Sobald eine knöchernen Fusion oder eine ausreichend straffe Pseudarthrose nachgewiesen werden kann, muss eine Versorgung mit orthopädischem Maßschuhwerk eingeleitet werden. Es ist eine weitgehende Versteifung der Schuhsohle und eine adäquate Abrollhilfe im Vor- und Rückfußbereich zu verordnen, um nicht durch die verlagerten Hebelkräfte einen Bruch an der Fusionsstelle zu provozieren. Wenn kein Durchbau erreicht werden konnte, ist zur Nachversorgung einer Pseudarthrose ein spezieller Hochschufts Schuh mit rigider Fersenfassung zu tragen. Durch diesen können die Bewegungen in der Pseudarthrose minimiert und die Hebelkräfte im Sprunggelenksbereich reduziert werden. Nach einer Talektomie tritt ein Längenverlust von bis zu 5 cm auf, der über eine Sohlenerhöhung ausgeglichen werden muss. Aufgrund des Ausfalls der Muskelpumpe im Unterschenkelbereich ist lebenslang ein Kompressionsstrumpf mindestens der Klasse II zu tragen.
11. Die Ergebnisse zeigen, dass eine knöcherne Fusion oder die Ausbildung einer straffen Pseudarthrose auch nach über 12 Monaten Behandlungszeit möglich ist. Es kann daher kein Zeitrahmen angegeben werden, bei dessen Überschreiten die Nachbehandlung zugunsten einer Amputation aufgegeben werden sollte. Es obliegt daher dem Behandler, in Absprache mit dem Patienten, herauszufinden, ob bei verzögerter Heilung, ein weiteres Zuwarten gerechtfertigt ist, oder eine Amputation einer Revisionsoperation vorgezogen werden sollte. Sofern ein Erhalt jedoch gesundheitlich vertretbar ist, halten wir ihn für unbedingt erstrebenswert, da die Nachsorge nach Amputation ungleich aufwendiger und kostenintensiver ist. Wenn eine Amputation nicht umgangen



werden kann, sollte diese so distal wie möglich durchgeführt werden, um die Morbidität so gering wie möglich zu beeinflussen [9]. Lediglich 25% der Patienten überlebt länger als sechs Jahre nach Majoramputation, wobei die Mortalität allerdings entscheidend durch kardiovaskuläre Nebenerkrankungen beeinflusst wird [41, 79]. Wenn eine Amputation geplant durchgeführt wird, ist auf die Erhaltung sinnvoller Einheiten zu achten [105]. Die transmalleoläre Amputation nach Syme ist die Methode der Wahl, wenn eine Amputation oberhalb des Sprunggelenkes notwendig ist, da diese dem Patienten kurze Gehstrecken auch ohne Prothese ermöglicht [96]. Die Amputation nach Pirogoff bietet ähnlich gute Ergebnisse bei der Langzeitüberlebenswahrscheinlichkeit. Hierbei wird der Kalkaneusdom reseziert, und der Restkalkaneus nach Talektomie um bis zu 90 Grad verkippt mit der distalen Tibia osteosynthetisiert wird [13].

## 4.4 Schlussfolgerung

Fußerhaltende Rekonstruktionen bei neuropathischer Osteoarthropathie sind möglich und bei entsprechend sorgfältiger Vorbereitung und Durchführung erfolgreich. Wichtig ist dabei, das in Frage kommende Patientengut exakt zu identifizieren und ein individuelles Behandlungsschema zu erarbeiten.

Anhand unserer Erfahrungen konnten einige Behandlungsgrundsätze fixiert werden:

1. Oberstes Ziel ist Prävention von wesentlichen Fehlstellungen im Rückfußbereich.
2. Exaktes Filtern der geeigneten Patienten auf Grundlage ihrer physischen Voraussetzungen.
3. Exaktes Filtern der geeigneten Patienten auf Grundlage ihrer psychischen Voraussetzungen.
4. Radikales Debridement von infizierten Weichteilläsion muss erfolgen.
5. Verzögerten Weichteilverschluss bei kontaminierten Wunden oder schwierigen Weichteilverhältnissen anstreben
6. Verlängerung der Vollentlastung auf bis zu 12 Monate bei Zweifeln an Patientencompliance
7. Radiologische Durchbaukontrollen sollten mittels Computertomografie erfolgen
8. Nachversorgung im orthopädischen Maßschuh mit Diabetes-adaptierter Weichbettung und Stützung des Fußgewölbes
9. Sekundäre Amputationen soweit distal wie möglich durchführen

Anhand unserer Untersuchungen konnten wir einige wiederkehrende Faktoren identifizieren, die das Ergebnis ungünstig beeinflusst haben. Bei Beachtung der beeinflussbaren Faktoren können die Ergebnisse noch weiter verbessert werden.

**Weiterführendes**

Als größter Unsicherheitsfaktor hat sich in unserer Untersuchung die Compliance des Patienten herausgestellt, weshalb sich ein deutlicher Trend hin zum Ringfixateur abzeichnet, da dieser größtmögliche Stabilität auch bei versehentlicher Belastung bietet und eine Nachjustierung leichter möglich ist.

Zudem wäre es für die zuverlässige Auswahl der geeigneten Patienten günstig, die zu erwartende Patientencompliance quantifizierbar zu machen, beispielsweise durch einen Test, da Patienten, die nicht in der Lage sind, die Tragweite des Eingriffes und der dabei benötigten Eigeninitiative zu ermessen, müssen von risikobehafteten Operationen dieser Größenordnung ausgeschlossen werden.

## 5 Zusammenfassung

Die neuropathische Osteoarthropathie ist ein progressives Krankheitsbild, das durch Gelenkluxationen, pathologische Frakturen und ausgiebige Destruktionen der Fußarchitektur gekennzeichnet ist. Die neuropathische Osteoarthropathie stellt mit und ohne Infektion ein schwerwiegendes Behandlungsproblem dar. Die fortschreitenden Skelettdestruktionen mit rezidivierenden Ulzera erschweren die Therapie und verschlechtern die Prognose des Extremitätenerhaltes. Eine Einigkeit in der Therapie besteht bisher nicht, jedoch haben Untersuchungen zeigen können, dass nach initialer konservativer Therapie die operative Therapie eine gute und erfolgreiche Methode darstellt, um die Extremitäten zu erhalten und somit dem Patienten die Mobilität zu ermöglichen.

In der vorliegenden Studie wurden retrospektiv die Daten von 19 chirurgischen Rückfußrekonstruktionen bei Patienten mit neuropathischer Arthropathie ausgewertet. Dabei wurden alle Patienten, die sich zwischen Januar 2001 und Dezember 2006 aufgrund einer neuropathischen Osteoarthropathie mit instabilem Rückfuß vorstellten, in die Studie aufgenommen und in Bezug auf Ausgangssituation, angewandte Technik und Heilungsverlauf analysiert. Ausgenommen wurden in dieser Studie Patienten mit Knocheninfektionen.

Je nach den physischen, gesundheitlichen und sozialen Voraussetzungen des Patienten und der lokalen Wundsituation (Sanders Levin; Kessler; Texas Wound Classification) kamen verschiedene Operationstechniken (Schrauben-, Platten- und Verriegelungarthrodese sowie externe Fixation) zum Einsatz.

Inklusive der Revisionsoperationen wurden 14 Schraubenarthrodesen, 13 Verriegelungsnagelarthrodesen, 8 Plattenarthrodesen und 6 Arthrodesen mittels Fixateur extern durchgeführt. Im Mittel wurde jeder Patient 2,2 Operationen unterzogen, da bei 47% der Patienten mindestens eine Revision erforderlich war.

Dabei konnten 15 Extremitäten mit guter Belastbarkeit erhalten werden (79%). Bei 11 Patienten (58%) konnte ein knöcherner Durchbau der Arthrodesen erreicht werden und bei 4 weiteren (21%) eine belastbare Pseudarthrose. Kein Patient musste primär majoramputiert werden. In 1 Fall musste bei Re-infektion mit fortbestehender Instabilität eine Amputation nach Syme durchgeführt werden, um den Patienten nicht vital zu gefährden. Ein weiterer Patient lehnte 7 Monate nach Erstoperation nach

ausführlichen Gesprächen eine mögliche Revision bei Instabilität ab und zog ebenfalls eine Amputation nach Syme vor.

Zwischen den präoperativen Einteilungen in die Wundklassifikationssysteme und dem Operationsergebnis konnte kein Zusammenhang aufgezeigt werden. Eine eindeutige Indikationsstellung für ein spezifisches Arthrodeseverfahren konnte aus den Klassifikationssystemen zur Einteilungen in den Grad der Osteodestruktion ebenfalls nicht abgeleitet werden.

Die Ergebnisse zeigen im Vergleich mit vorhergehenden Studien die massive Heterogenität des Patientengutes. Ein Algorithmus bzw. ein Indikations- und Operationsleitfaden kann daraus nicht entwickelt werden. Eine adäquate Therapie besteht aus einer aufwändigen Diagnostik, vorbereitenden Maßnahmen, einer sorgfältigen Operationsplanung und -durchführung und individuellen Nachsorge.

Die Wahrscheinlichkeit einer knöchernen Konsolidierung und Stabilisation nimmt bei steigender Anzahl der Revisionsoperationen ab.

Abschließend kann die Frage unter welchen Voraussetzungen, welche Technik das günstigste Ergebnis erzielt, nicht beantwortet werden. Aus diesem Grund muss weiterhin in sorgfältiger Abwägung der patientenspezifischen Voraussetzungen, das geeignete Verfahren ausgewählt werden. Wesentlicher als die angewendete Operationstechnik erscheint eine hinreichende Entlastung der Extremität. Eine deutlich bessere Sicherung des Operationsergebnisses kann durch Ilisarov Ringfixateure erreicht werden, die auch eine gelegentliche Fehlbelastung tolerieren.

Auch bei verspätet eingeleiteter Therapie sind rekonstruktive Maßnahmen möglich und indiziert und führen in der überwiegenden Zahl der Fälle zu guten funktionellen Ergebnissen, so dass ein hoher Anteil ansonsten amputationsgefährdeter Extremitäten erhalten werden kann.

Auf Grundlage der Studienergebnisse sollte eine Neuorientierung in der Behandlung erfolgen und versucht werden, schon bei beginnender Instabilität und drohendem Weichteildefekt die betroffene Patientengruppe zusätzlich zur Anbindung an konservative Schwerpunktpraxen frühzeitig auch den spezialisierten chirurgischen Disziplinen vorzustellen. In der Erwartung hierdurch noch deutlich bessere Ergebnisse erzielen zu können, sollten weiterführende Studien durchgeführt werden.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] AHMAD, J; POUR, A. R. S. The modified use of a proximal humeral locking plate for tibiototalcalcaneal arthrodesis. *Foot Ankle Int* 28, 9 (Sep 2007), 977–983.
- [2] ALPERT, S; KOVAL; ZUCKERMAN, J. Neuropathic arthropathy: Review of current knowledge. *J Am Acad Orthop Surg* 4, 2 (Mar 1996), 100–108.
- [3] APELQVIST, \_J; BAKKER, K. v. H. W. N.-F. M. S. N. International consensus and practical guidelines on the management and the prevention of the diabetic foot. international working group on the diabetic foot. *Diabetes Metab Res Rev* 16 Suppl 1 (2000), 84–92.
- [4] ARMSTRONG, D. F. R. Classifying diabetic foot surgery: toward a rational definition. *Diabet Med* 20, 4 (Apr 2003), 329–331.
- [5] ARMSTRONG, DG; NGUYEN, H. L. L. v. S.-C. B. A. H. L. Off-loading the diabetic foot wound: a randomized clinical trial. *Diabetes Care* 24, 6 (Jun 2001), 1019–1022.
- [6] ARMSTRONG, DG; LAVERY, L. Elevated peak plantar pressures in patients who have charcot arthropathy. *J Bone Joint Surg Am* 80, 3 (Mar 1998), 365–369.
- [7] ARMSTRONG, DG; LAVERY, L. H. L. Validation of a diabetic wound classification system. the contribution of depth, infection, and ischemia to risk of amputation. *Diabetes Care* 21, 5 (May 1998), 855–859.
- [8] ARMSTRONG, DG; LAVERY, L. K. H. N. B. B. A. Activity patterns of patients with diabetic foot ulceration: patients with active ulceration may not adhere to a standard pressure off-loading regimen. *Diabetes Care* 26, 9 (Sep 2003), 2595–2597.
- [9] ASSOCIATION, A. D. Consensus development conference on diabetic foot wound care. 7-8 april 1999, boston, ma. american diabetes association. *Adv Wound Care* 12, 7 (Sep 1999), 353–361.
- [10] BEREND, ME; GLISSON, R. N. J. A biomechanical comparison of intramedullary nail and crossed lag screw fixation for tibiototalcalcaneal arthrodesis. *Foot Ankle Int* 18, 10 (Oct 1997), 639–643.
- [11] BIBBO, C; LEE, S. A. R. D. W. Limb salvage: the infected retrograde tibiototalcalcaneal intramedullary nail. *Foot Ankle Int* 24, 5 (May 2003), 420–425.
- [12] BJORKENGREN, AG; WEISMAN, M. P. M. Z. M. P. D. R. D. Neuroarthropathy associated with chronic alcoholism. *Am J Roentgenol* 151, 4 (Oct 1988), 743–745.
- [13] BOLLINGER, M; THORDARSON, D. Partial calcaneotomy: an alternative to below knee amputation. *Foot Ankle Int* 23, 10 (Oct 2002), 927–932.
- [14] BREUER, U. Diabetic patient's compliance with bespoke footwear after healing of neuropathic foot ulcers. *Diabete Metab* 20, 4 (1994), 415–419.
- [15] BRODSKY, JW; SCHNEIDLER, C. Diabetic foot infections. *Orthop Clin North Am* 22, 3 (Jul 1991), 473–89. Brodsky, J W Schneidler, C Review United states The Orthopedic clinics of North America *Orthop Clin North Am*. 1991 Jul;22(3):473-89.
- [16] BRODSKY, J. *The Diabetic Foot: Surgery of the Foot and Ankle*. St.Louis, C.V. Mosby-Yearbook, 1994.
- [17] BROWER, AC; ALLMAN, R. Pathogenesis of the neurotrophic joint: neurotraumatic vs. neurovascular. *Radiology* 139, 2 (May 1981), 349–354.
- [18] CARAVAGGI, C; CIMMINO, M. C. S. D. N. S. Intramedullary compressive nail fixation for the treatment of severe charcot deformity of the ankle and rear foot. *J Foot Ankle Surg* 45, 1 (2006), 20–24.

- [19] CARPINTERO, P; GARCÍA-FRASQUET, A. P. P. G. J. M. M. Wrist involvement in hansen's disease. *J Bone Joint Surg Br* 79, 5 (Sep 1997), 753–757.
- [20] CHANTELAU, E; RICHTER, A. G.-Z. N. P. L. "silent" bone stress injuries in the feet of diabetic patients with polyneuropathy: a report on 12 cases. *Arch Orthop Trauma Surg* 127, 3 (Apr 2007), 171–177.
- [21] CHANTELAU, E; ONVLEE, G. Charcot foot in diabetes: farewell to the neurotrophic theory. *Horm Metab Res* 38, 6 (Jun 2006), 361–367.
- [22] CHARCOT, JM; FÉRÉ, C. Affections osseuses et articulaires du pied chez les tabétiques (pied tabétique). *Archives de Neurologie* 6(18) (1883), 305–319.
- [23] CHARCOT, J. Sur quelques arthropathies qui paraissent dépendre d'une lésion du cerveau ou de la moelle épinière. *Arch Physiol Norm Pathol* 1 (1868), 161–178.
- [24] CHARCOT, J. *Lectures on the diseases of the nervous system: Lecture IV, on some visceral derangements in locomotor ataxia, arthropathies of ataxic patients*. London, New Sydenham Society, 1881.
- [25] CHI, TD; MCWILLIAM, J. G.-J. Lateral plate-washer technique for revision tibiocalcaneal fusion. *Am J Orthop* 30, 7 (Jul 2001), 588–590.
- [26] CHILDS, M; ARMSTRONG, D. E.-G. Is charcot arthropathy a late sequela of osteoporosis in patients with diabetes mellitus. *J Foot Ankle Surg* 37, 5 (1998), 437–439.
- [27] CHIODO, CP; ACEVEDO, J. S.-V. P. B. B. H. M. M. S. L. Intramedullary rod fixation compared with blade-plate-and-screw fixation for tibiototalcalcaneal arthrodesis: a biomechanical investigation. *J Bone Joint Surg Am* 85-A, 12 (Dec 2003), 2425–2428.
- [28] CLOUSE, ME; GRAMM, H. Diabetic osteoarthropathy: Clinical and roentgenographic observations in 90 cases. *American Journal of Radiology* 121 (1974), 22.
- [29] COFIELD, RH; MORRISON, M. B.-J. Diabetic neuroarthropathy in the foot: patient characteristics and patterns of radiographic change. *Foot Ankle* 4, 1 (1983), 15–22.
- [30] COLUCCI, A; MAGLIOCCO, A. A.-M. B. A. A. G. P. F. M. A. Analysis of type 2 diabetes disease management: cross-study of a sanitary district. *Minerva Med* 98, 3 (Jun 2007), 167–173. Journal article Minerva Med. 2007 Jun;98(3):167-173.
- [31] CONNOLLY, CF; CSENCSTZ, T. Limb threatening neuropathic complications from ankle fractures in patients with diabetes. *Clin Orthop Relat Res*, 348 (Mar 1998), 212–219.
- [32] CONWAY, J. Charcot salvage of the foot and ankle using external fixation. *Foot Ankle Clin* 13, 1 (Mar 2008), 157–73, vii.
- [33] COX, NH; MCCRUDEN, D. M.-A. J. S. O.-T. L. F. A. F. B. Histological findings in clinically normal skin of patients with insulin-dependent diabetes. *Clin Exp Dermatol* 12, 4 (Jul 1987), 250–255.
- [34] DALLA PAOLA, L; VOLPE, A. V. D. P. A. B. E. S. A. M. M. D. V. D. D. R. R. A. R. Use of a retrograde nail for ankle arthrodesis in charcot neuroarthropathy: a limb salvage procedure. *Foot Ankle Int* 28, 9 (Sep 2007), 967–970.
- [35] ECKMAN, MH; GREENFIELD, S. M. W. W. J. K. S. S. L. D. K. P. S. Foot infections in diabetic patients. decision and cost-effectiveness analyses. *JAMA* 273, 9 (Mar 1995), 712–720.
- [36] EDELMAN, SV; KOSOFKY, E. P. R. K. G. Neuroosteoarthropathy (charcot's joint) in diabetes mellitus following revascularization surgery. three case reports and a review of the literature. *Arch Intern Med* 147, 8 (Aug 1987), 1504–1508.
- [37] EDMONDS, ME; CLARKE, M. N. S. B. J. W. P. Increased uptake of bone radiopharmaceutical in diabetic neuropathy. *Q J Med* 57, 224 (Dec 1985), 843–855.

- 
- [38] EICHENHOLTZ, S. *Charcot Joints*. Charles CT; Springfield, IL, 1963.
  - [39] ELOESSER, L. On the nature of neuropathic affections of the joints. *Ann Surg* 66, 2 (Aug 1917), 201–207.
  - [40] ENDERLE, MD; COERPER, S. S. H. K. A. T. M. M. C. P. H. B. H. C. C. H. H. L. D. Correlation of imaging techniques to histopathology in patients with diabetic foot syndrome and clinical suspicion of chronic osteomyelitis. the role of high-resolution ultrasound. *Diabetes Care* 22, 2 (Feb 1999), 294–299.
  - [41] FAGLIA, E; FAVALES, F. M. A. New ulceration, new major amputation, and survival rates in diabetic subjects hospitalized for foot ulceration from 1990 to 1993: a 6.5-year follow-up. *Diabetes Care* 24, 1 (Jan 2001), 78–83.
  - [42] FRYKBERG, RG; ZGONIS, T. A. D. D. V. G. J. K. S. L. A. L. L. A. M. J. S. J. W. D. A. C. V. J. Diabetic foot disorders: A clinical practice guideline (2006 revision). *J Foot Ankle Surg* 45, 5 Suppl (2006), 1–66.
  - [43] GARANCINI, MP; CALORI, G. M. E. I. A. E. E. G. L. B. L. G. G. An italian population-based study of the prevalence of diabetes: some methodological aspects. *Diabete Metab* 19, 1 Pt 2 (1993), 116–20. Garancini, M P Calori, G Manara, E Izzo, A Ebbli, E Galli, L Boari, L Gallus, G Research Support, Non-U.S. Gov't France Diabete & metabolisme Diabete Metab. 1993;19(1 Pt 2):116-20.
  - [44] GARAPATI, R; WEINFELD, S. Complex reconstruction of the diabetic foot and ankle. *Am J Surg* 187, 5A (May 2004), 81–86. Garapati, Rajeev Weinfeld, Steven B Review United States American journal of surgery Am J Surg. 2004 May;187(5A):81S-86S.
  - [45] GOODFIELD, MJ; MILLARD, L. The skin in diabetes mellitus. *Diabetologia* 31, 8 (Aug 1988), 567–575.
  - [46] GOUGH, A; ABRAHA, H. L. F. P. T. F. A. W. P. M. C. E. M. Measurement of markers of osteoclast and osteoblast activity in patients with acute and chronic diabetic charcot neuroarthropathy. *Diabet Med* 14, 7 (Jul 1997), 527–531.
  - [47] GRANT, WP; SULLIVAN, R. S. D. A. M. S. J. C. K. V. A. Electron microscopic investigation of the effects of diabetes mellitus on the achilles tendon. *J Foot Ankle Surg* 36, 4 (1997), 272–8; discussion 330.
  - [48] GRANT, WP; GARCIA-LAVIN, S. S. R. T. H. J. E. A retrospective analysis of 50 consecutive charcot diabetic salvage reconstructions. *J Foot Ankle Surg* 48, 1 (2009), 30–38.
  - [49] GRIFFITH, J; DAVIES, A. C. C. N. M. Organized chaos? computed tomographic evaluation of the neuropathic diabetic foot. *Br J Radiol* 68, 805 (Jan 1995), 27–33.
  - [50] GROSS, MD; SHAPIRO, B. F. L. S. R. S. R. H. R. Imaging of human infection with (131)i-labeled recombinant human interleukin-8. *J Nucl Med* 42, 11 (Nov 2001), 1656–1659.
  - [51] GUYTON, G. An analysis of iatrogenic complications from the total contact cast. *Foot Ankle Int* 26, 11 (Nov 2005), 903–907.
  - [52] HADDAD, SL; MYERSON, M. P. R. S. L. Clinical and radiographic outcome of revision surgery for failed triple arthrodesis. *Foot Ankle Int* 18, 8 (Aug 1997), 489–499.
  - [53] HANNA, W; FRIESEN, D. B. C. G. D. H. A. Pathologic features of diabetic thick skin. *J Am Acad Dermatol* 16, 3 Pt 1 (Mar 1987), 546–553.
  - [54] HARRIS, J. B. P. Patterns of disintegration of the tarsus in the anaesthetic foot. *J Bone Joint Surg Br* 48, 1 (Feb 1966), 4–16.
  - [55] HARWOOD, SJ; VALDIVIA, S. H. G. Q. R. Use of sulesomab, a radiolabeled antibody fragment, to detect osteomyelitis in diabetic patients with foot ulcers by leukoscintigraphy. *Clin Infect Dis* 28, 6 (Jun 1999), 1200–1205.



- [56] HASKELL, A; PFEIFF, C. M. R. Subtalar joint arthrodesis using a single lag screw. *Foot Ankle Int* 25, 11 (Nov 2004), 774–777.
- [57] HASTINGS, MK; SINACORE, D. F. F. J. J. Bone mineral density during total contact cast immobilization for a patient with neuropathic (charcot) arthropathy. *Phys Ther* 85, 3 (Mar 2005), 249–256.
- [58] HOCKENBURY, RT; GRUTTADAURIA, M. M. I. Use of implantable bone growth stimulation in charcot ankle arthrodesis. *Foot Ankle Int* 28, 9 (Sep 2007), 971–976.
- [59] HOLMES, GB; HILL, N. Fractures and dislocations of the foot and ankle in diabetics associated with charcot joint changes. *Foot Ankle Int* 15, 4 (Apr 1994), 182–185.
- [60] JEFFCOATE, WJ; LIPSKY, B. Controversies in diagnosing and managing osteomyelitis of the foot in diabetes. *Clin Infect Dis* 39 (Suppl 2) (Aug 2004), 115–122.
- [61] JEFFCOATE, WJ; PRICE, P. H. K. Wound healing and treatments for people with diabetic foot ulcers. *Diabetes Metab Res Rev* 20 Suppl 1 (2004), 78–89.
- [62] JOHNSON, J. Neuropathic fractures and joint injuries. pathogenesis and rationale of prevention and treatment. *J Bone Joint Surg Am* 49, 1 (Jan 1967), 1–30.
- [63] JORDAN, W. Neuritic manifestations in diabetes mellitus. *Archives of Internal Medicine* 57 (1936), 307.
- [64] JOSEPH, TN; MYERSON, M. Correction of multiplanar hindfoot deformity with osteotomy, arthrodesis, and internal fixation. *Instr Course Lect* 54 (2005), 269–276.
- [65] KANN, JN; PARKS, B. S. L. Biomechanical evaluation of two different screw positions for fusion of the calcaneocuboid joint. *Foot Ankle Int* 20, 1 (Jan 1999), 33–36.
- [66] KELLY, PJ; COVENTRY, M. Neurotrophic ulcers of the feet; review of forty-seven cases. *J Am Med Assoc* 168, 4 (Sep 1958), 388–393.
- [67] KOLLER, A; HAFKEMEYER, U. F. R. W. H. Reconstructive foot surgery in cases of diabetic-neuropathic osteoarthropathy. *Orthopade* 33, 9 (Sep 2004), 983–991.
- [68] KRAUSE, JO; BRODSKY, J. Natural history of type 1 midfoot neuropathic feet. *Foot and Ankle Clinics* 2, 1 (1997), 1–22.
- [69] LASSUS, J; TULIKOURA, I. K. Y. S. J. S. S. Bone stress injuries of the lower extremity: a review. *Acta Orthop Scand* 73, 3 (Jun 2002), 359–368.
- [70] LAVERY, LA; ARMSTRONG, D. W. R. T. J. B. A. Predictive value of foot pressure assessment as part of a population-based diabetes disease management program. *Diabetes Care* 26, 4 (Apr 2003), 1069–1073.
- [71] LEVIN, L. Classification of diabetic foot wounds. *Diabetes Care* 21, 5 (May 1998), 681.
- [72] LIENER, UC; BAUER, G. K. L. S. G. Tibiocalcaneal fusion for the treatment of talar necrosis. an analysis of 21 cases. *Unfallchirurg* 102, 11 (Nov 1999), 848–854.
- [73] LIPSKY, B. A current approach to diabetic foot infections. *Curr Infect Dis Rep* 1, 3 (Aug 1999), 253–260.
- [74] MACCORMAC, W; KLOCKMANN, J. Transactions of the international medical congress: seventh session held in london august 2-9, 1881. *London, Ballantyne, Hanson & Co* 1 (1881), 128–129.
- [75] MEANS, KR; PARKS, B. N. A. S. L. Intramedullary nail fixation with posterior-to-anterior compared to transverse distal screw placement for tibiotalar calcaneal arthrodesis: a biomechanical investigation. *Foot Ankle Int* 27, 12 (Dec 2006), 1137–1142.
- [76] MENDICINO, RW; CATANZARITI, A. S. K. D. M. T. B. S. T. J. B. Tibiotalar calcaneal arthrodesis with retrograde intramedullary nailing. *J Foot Ankle Surg* 43, 2 (2004), 82–86.

- [77] MITCHELL, SW; MOREHOUSE, G. W. *Gunshot wounds and other injuries of nerves*. Philadelphia, J.B. Lippincott & Co, 1864.
- [78] MITCHELL, J. On a new practice in acute and chronic rheumatism. *Am J Med Sci* 8 (1831), 55–64.
- [79] MOORE, TJ; BARRON, J. H. F. G. C. E. C. H. D. Prosthetic usage following major lower extremity amputation. *Clin Orthop Relat Res*, 238 (Jan 1989), 219–224.
- [80] MORBACH, S; MÜLLER, E. R. H. R. A. S. M. Diagnostik, therapie, verlaufskontrolle und prävention des diabetischen fußsyndroms. *Diabetes und Stoffwechsel* 13 (2004), 9–30.
- [81] MYERSON, M. *Foot and Ankle Disorders*. Philadelphia, Saunders, W.B, 2000, ch. Diabetic neuroarthropathy, p. 439–465.
- [82] MYERSON, MS; ALVAREZ, R. L. P. Tibiocalcaneal arthrodesis for the management of severe ankle and hindfoot deformities. *Foot Ankle Int* 21, 8 (Aug 2000), 643–650.
- [83] MYERSON, MS; EDWARDS, W. Management of neuropathic fractures in the foot and ankle. *J Am Acad Orthop Surg* 7, 1 (Jan 1999), 8–18.
- [84] NIHAL, A; GELLMAN, R. E. J. T. E. Ankle arthrodesis. *Foot Ankle Surg* 14, 1 (2008), 1–10.
- [85] OYIBO, SO; JUDE, E. T. I. N. H. H. L. B. A. A comparison of two diabetic foot ulcer classification systems: the wagner and the university of texas wound classification systems. *Diabetes Care* 24, 1 (Jan 2001), 84–88.
- [86] PAPA, J; MYERSON, M. G. P. Salvage, with arthrodesis, in intractable diabetic neuropathic arthropathy of the foot and ankle. *J Bone Joint Surg Am* 75, 7 (Jul 1993), 1056–1066.
- [87] PELTON, K; HOFER, J. T. D. Tibiotalocalcaneal arthrodesis using a dynamically locked retrograde intramedullary nail. *Foot Ankle Int* 27, 10 (Oct 2006), 759–763.
- [88] PERLMAN, MH; THORDARSON, D. Ankle fusion in a high risk population: an assessment of nonunion risk factors. *Foot Ankle Int* 20, 8 (Aug 1999), 491–496.
- [89] PERRY, MD; TARANOW, W. M. A. C. J. Salvage of failed neuropathic ankle fractures: use of large-fragment fibular plating and multiple syndesmotic screws. *J Surg Orthop Adv* 14, 2 (2005), 85–91.
- [90] PIAGGESI, A; RIZZO, L. G. F. C. D. B. F. C. S. D. G. S. V. E. T. D. Z. V. M. C. D. P. S. Biochemical and ultrasound tests for early diagnosis of active neuro-osteoarthropathy (noa) of the diabetic foot. *Diabetes Res Clin Pract* 58, 1 (Oct 2002), 1–9.
- [91] PINZUR, MS; KELIKIAN, A. Charcot ankle fusion with a retrograde locked intramedullary nail. *Foot Ankle Int* 18, 11 (Nov 1997), 699–704.
- [92] PINZUR, M. Charcot's foot. *Foot Ankle Clin* 5, 4 (Dec 2000), 897–912.
- [93] PINZUR, M. Surgical versus accommodative treatment for charcot arthropathy of the midfoot. *Foot Ankle Int* 25, 8 (Aug 2004), 545–549.
- [94] PINZUR, M. Neutral ring fixation for high-risk nonplantigrade charcot midfoot deformity. *Foot Ankle Int* 28, 9 (Sep 2007), 961–966.
- [95] PINZUR, MS; SHIELDS, N. T. E. D. P. E. A. Current practice patterns in the treatment of charcot foot. *Foot Ankle Int* 21, 11 (Nov 2000), 916–920.
- [96] PINZUR, MS; STUCK, R. S. R. H. N. R. Z. Syme ankle disarticulation in patients with diabetes. *J Bone Joint Surg Am* 85-A, 9 (Sep 2003), 1667–1672.
- [97] PINZUR, MS; SAGE, R. S. R. K. S. Z. A. A treatment algorithm for neuropathic (charcot) midfoot deformity. *Foot Ankle* 14, 4 (May 1993), 189–197.

- [98] PINZUR, MS; NOONAN, T. Ankle arthrodesis with a retrograde femoral nail for charcot ankle arthropathy. *Foot Ankle Int* 26, 7 (Jul 2005), 545–549.
- [99] PUA, BB; MUHS, B. M. T. B.-A. E. S. P. G. P. Total-contact casting as an adjunct to promote healing of pressure ulcers in amputees. *Vasc Endovascular Surg* 40, 2 (2006), 135–140.
- [100] RAJBHANDARI, SM; JENKINS, R. D. C. T.-S. Charcot neuroarthropathy in diabetes mellitus. *Diabetologia* 45, 8 (Aug 2002), 1085–1096.
- [101] RAUWERDA, J. Surgical treatment of the infected diabetic foot. *Diabetes Metab Res Rev* 20 Suppl 1 (2004), S41–S44.
- [102] REIHSNER, R; MENZEL, E. Two-dimensional stress-relaxation behavior of human skin as influenced by non-enzymatic glycation and the inhibitory agent aminoguanidine. *J Biomech* 31, 11 (Nov 1998), 985–993.
- [103] REIKE, H. *Diabetisches Fuß-Syndrom. Diagnostik und Therapie der Grunderkrankungen und Komplikationen*. De Gruyter, Berlin, 1999, ch. Inhaltliche und formale Strukturen für eine erfolgreiche Betreuung von Patienten mit diabetischem Fuß-Syndrom, pp. 191–204.
- [104] RICHTER, D; HAHN, M. L. R. E.-A. M. G. O. P. Arthrodesis of the infected ankle and subtalar joint: technique, indications, and results of 45 consecutive cases. *J Trauma* 47, 6 (Dec 1999), 1072–1078.
- [105] RÜMENAPF, G. Borderline amputations in diabetics - open questions and critical evaluation. *Zentralbl Chir* 128, 9 (Sep 2003), 726–733.
- [106] ROUKIS, TS; ZGONIS, T. The management of acute charcot fracture-dislocations with the taylor's spatial external fixation system. *Clin Podiatr Med Surg* 23 (VIII), 2 (Apr 2006), 467–83.
- [107] SALO, PT; THERIAULT, E. W. R. Selective ablation of rat knee joint innervation with injected immunotoxin: a potential new model for the study of neuropathic arthritis. *J Orthop Res* 15, 4 (Jul 1997), 622–628.
- [108] SAMMARCO, GJ; CONTI, S. Surgical treatment of neuroarthropathic foot deformity. *Foot Ankle Int* 19, 2 (Feb 1998), 102–109.
- [109] SANDERS, L. *The high risk foot in diabetes mellitus*. Churchill Livingstone 297, 1991, ch. Diabetic neuropathic osteoarthropathy.
- [110] SANDERS, L. F. R. *The Diabetic Foot, sixth edition*, vol. 22. Amsterdam, Elsevier, 2000, ch. Charcot Neuroarthropathy of the Foot: Evaluation: Techniques and Nonsurgical Management.
- [111] SCHON, LC; EASLEY, M. W. S. Charcot neuroarthropathy of the foot and ankle. *Clin Orthop Relat Res* 1, 349 (Apr 1998), 116–131.
- [112] SCHON, LC; MARKS, R. The management of neuroarthropathic fracture-dislocations in the diabetic patient. *Orthop Clin North Am* 26, 2 (Apr 1995), 375–392.
- [113] SCHON, LC; WEINFELD, S. H. G. R.-S. Radiographic and clinical classification of acquired midtarsus deformities. *Foot Ankle Int* 19, 6 (Jun 1998), 394–404.
- [114] SCHWARZ, GS; BERENYI, M. S. M. Atrophic arthropathy and diabetic neuritis. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* 106, 3 (Jul 1969), 523–529.
- [115] SELLA, EJ; BARRETTE, C. Staging of charcot neuroarthropathy along the medial column of the foot in the diabetic patient. *J Foot Ankle Surg* 38, 1 (1999), 34–40.
- [116] SIMON, SR; TEJWANI, S. W. D. S.-T. D. N. Arthrodesis as an early alternative to nonoperative management of charcot arthropathy of the diabetic foot. *J Bone Joint Surg Am* 82-A, 7 (Jul 2000), 939–950.

- 
- [117] SLOWMAN-KOVACS, SD; BRAUNSTEIN, E. B. K. Rapidly progressive charcot arthropathy following minor joint trauma in patients with diabetic neuropathy. *Arthritis Rheum* 33, 3 (Mar 1990), 412–417.
  - [118] SOMMEREY, S. *Klassifikation des Charcotfußes anhand von klinischen und radiologischen Befunden*. PhD thesis, LMU München, 2004.
  - [119] SPRAUL, M; APELQVIST, J. B. K. *Internationaler Konsensus über den Diabetischen Fuß*. Verlag Kirchheim & Co GmbH, Mai 1999.
  - [120] STASEK, M; KOST'ÁLEK, V. H. B. P.-J. The role of external fixation in treatment of diabetic foot syndrome. *Rozhl Chir* 87, 5 (May 2008), 247–249.
  - [121] STEED, DL; DONOHOE, D. W. M. L.-L. Effect of extensive debridement and treatment on the healing of diabetic foot ulcers. diabetic ulcer study group. *J Am Coll Surg* 183, 1 (Jul 1996), 61–64.
  - [122] STESS, RM; JENSEN, S. M. R. The role of dynamic plantar pressures in diabetic foot ulcers. *Diabetes Care* 20, 5 (May 1997), 855–858.
  - [123] STONE, NC; DANIELS, T. Midfoot and hindfoot arthrodeses in diabetic charcot arthropathy. *Can J Surg* 43, 6 (Dec 2000), 449–455.
  - [124] STUART, M. M. B. Arthrodesis of the diabetic neuropathic ankle joint. *Clin Orthop Relat Res*, 253 (Apr 1990), 209–211.
  - [125] TAMIR, E; DANIELS, T. F. A. N.-M. Off-loading of hindfoot and midfoot neuropathic ulcers using a fiberglass cast with a metal stirrup. *Foot Ankle Int* 28, 10 (Oct 2007), 1048–1052.
  - [126] TAYLOR, LM; PORTER, J. The clinical course of diabetics who require emergent foot surgery because of infection or ischemia. *J Vasc Surg* 6, 5 (Nov 1987), 454–459.
  - [127] THEFELD, W. Prevalence of diabetes mellitus in the adult german population. *Gesundheitswesen* 61 Spec No (Dec 1999), 85–89. Thefeld, W English Abstract Germany Gesundheitswesen (Bundesverband der Ärzte des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (Germany)) Gesundheitswesen. 1999 Dec;61 Spec No:S85-9.
  - [128] TREPMAN, E; DONNELLY, P. Patellar tendon-bearing, patten-bottom caliper suspension orthosis in active charcot arthropathy: crutch-free ambulation with no weight bearing in the foot. *Foot Ankle Int* 23, 4 (Apr 2002), 335–339.
  - [129] VAN BAAL, J. Surgical treatment of the infected diabetic foot. *Clin Infect Dis* 39 Suppl 2 (Aug 2004), S123–S128.
  - [130] VEVES, A; AKBARI, C. P. J. D.-V. Z. D. C. J. D. U. L. F. F. R. Endothelial dysfunction and the expression of endothelial nitric oxide synthetase in diabetic neuropathy, vascular disease, and foot ulceration. *Diabetes* 47, 3 (Mar 1998), 457–463.
  - [131] WAGNER, F. The dysvascular foot: a system for diagnosis and treatment. *Foot Ankle* 2, 2 (Sep 1981), 64–122.
  - [132] WAGNER, A; FUHRMANN, R. R. A. Charcot foot treated by correction and arthrodesis of the hindfoot. *Oper Orthop Traumatol* 17, 4-5 (Oct 2005), 554–562.
  - [133] WU, SC; ARMSTRONG, D. The role of activity, adherence, and off-loading on the healing of diabetic foot wounds. *Plast Reconstr Surg* 117, 7 Suppl (Jun 2006), 248S–253S.
  - [134] WUKICH, DK; BELCZYK, R. B. P. F.-R. Complications encountered with circular ring fixation in persons with diabetes mellitus. *Foot Ankle Int* 29, 10 (Oct 2008), 994–1000.
  - [135] XU, DY; CAO, L. L. C. Z.-A. F. W. Neuroarthropathy. clinico-radiologic analysis of 115 cases. *Chin Med J (Engl)* 105, 10 (Oct 1992), 860–865.
  - [136] YOUNG, MJ; MARSHALL, A. A. J. S. P. B. A. Osteopenia, neurological dysfunction, and

the development of charcot neuroarthropathy. *Diabetes Care* 18, 1 (Jan 1995), 34–38.

- [137] YOUNGER, ASE; MYERSON, M. Reconstruction of the infected traumatized joint. *Foot Ankle Clin* 11 (XI), 1 (Mar 2006), 203–215.

## 7 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Beidseitige Rückfußinstabilität bei neuropathischer Osteoarthropathie.....	4
Abb. 2: Originalzeichnung von JM Charcot von 1883.....	8
Abb. 3: Irreversible Charcot Veränderungen des Rückfußes.....	10
Abb. 4: Dislokation des Talus ohne Weichteilläsion .....	21
Abb. 5: Vergleich osteoarthropathischer Veränderungen konventionell und CT diagnostisch .....	22
Abb. 6: Bei akutem osteoarthropathischem Knochenödem ist die Differenzierung von einer Osteomyelitis häufig unmöglich .....	23
Abb. 7: Rückläufiges Knochenödem bei Osteoarthropathie mit Luxation im talo- navicular Gelenk.....	23
Abb. 8: Korrelation zwischen erwarteter Heilung und angiologischem Befund nach Apelqvist.....	31
Abb. 9: Ausgeprägte Destruktion des Talus .....	32
Abb. 10: Beispiel einer Schraubenarthrodese .....	38
Abb. 11: Beispiel einer Verriegelungsarthrodese.....	39
Abb. 12: Beispiel einer Plattenarthrodese mit konventioneller T-Platte .....	40
Abb. 13: Beispiel einer externen Fixation .....	41
Abb. 14: Vorerkrankungen.....	44
Abb. 15: Wundstadium nach der Texas Wund Klassifikation.....	45
Abb. 16: Verteilung der präoperativen Stadien nach Kessler .....	46
Abb. 17: Verteilung der Primärtechniken .....	47
Abb. 18: Ergebnis der Primärtechnik .....	48
Abb. 19: Verteilung der Sekundärtechniken .....	49
Abb. 20: Ergebnis der Sekundärtechnik .....	49
Abb. 21: Beispiel einer Schraubenarthrodese .....	50
Abb. 22: Beispiel einer Verriegelungsarthrodese mit verzögertem Durchbau.....	51
Abb. 23: Beispiel einer Plattenarthrodese mit knöchernem Durchbau.....	52
Abb. 24: Beispiel einer Stabilisierung mit Fixateur extern.....	53
Abb. 26: Durchbaurate bei Lokalisation nach Kessler .....	59
Abb. 25: Ergebnis bei Kombination von Lokalisation und Wundstadium .....	61

## 8 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Stadieneinteilung nach Eichenholtz (1966) .....	14
Tab. 2: Lokalisation nach Kelly und Coventry (1958) .....	15
Tab. 3: Stadieneinteilung nach Levin (1998) .....	15
Tab. 4: Lokalisation nach Sanders (1991) .....	16
Tab. 5: Texas Wound Classification (1998) .....	16
Tab. 6: Stadium der Primärveränderung nach Kessler (2004).....	17
Tab. 7: Einteilung der Frakturform nach Kessler (2004) .....	17
Tab. 8: Einteilung der Dislokation nach Kessler (2004) .....	18
Tab. 9: Einteilung der Weichteilveränderungen nach Kessler (2004) .....	18
Tab. 10: Lokalisation der knöchernen Veränderung nach Kessler (2004) .....	19
Tab. 11: Grade der Mobilität .....	29
Tab. 12: Altersverteilung der Patienten .....	43
Tab. 13: Anzahl der Voroperationen .....	44
Tab. 14: Notwendige Operationen pro Patient.....	47
Tab. 15: Erfolg nach präoperativem Wundstadium.....	58
Tab. 16: Ergebnis aufgeschlüsselt nach knöcherner Primärveränderung .....	60

## 9 Danksagung

Mein Dank für die hilfreiche Unterstützung bei der Erstellung meiner Doktorarbeit geht vor allem an meinen Doktorvater Professor Keßler.

Auch möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, bei meinem Mann Lars, der mich nicht nur tatkräftig unterstützt hat, sondern mich auch stets aufbaute und bei meinen Kindern Lukas und Benjamin, die für die erforderliche Abwechslung sorgten.

Vor allem möchte ich mich aber bei meinen Eltern bedanken, ohne deren liebevolle Unterstützung ein Studium und eine Doktorarbeit niemals möglich geworden wären.



## 10 Lebenslauf

### Persönliche Daten

Name: Kurvin  
 Vorname: Alexandra  
 Geburtsdatum: 22.06.1975, München

Familienstand: verheiratet, 2 Söhne

### Schulbildung

1981 - 1983 Grundschule Holzkirchen  
 1983 - 1985 Grundschule Passau  
 1985 - 1994 Maristengymnasium Fürstenzell  
 ➤ Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

### Hochschulbildung

04/1995 - 04/2003 Ludwig Maximilians Universität München  
 ➤ Humanmedizin  
 ➤ 03/2000 erster Abschnitt der ärztlichen Prüfung  
 ➤ 04/2002 zweiter Abschnitt der ärztlichen Prüfung  
 ➤ 04/2003 dritter Abschnitt der ärztlichen Prüfung

### Berufliche Ausbildung

10/2003 AiP in der Frauenklinik Dr. Geisenhoferklinik, München  
 10/2004 Assistentin in der Frauenklinik Dr. Geisenhofer, München

### Berufliche Nebentätigkeiten

1994 - 1995 Krankenpflegepraktikum in der Herzchirurgie, Klinikum Passau  
 1995 - 1999 Krankenpflegehelferin im städtischen Klinikum München -Bogenhausen  
 1999 - 2001 Dienste als Krankenpflegehelferin auf der anästhesiologischen Intensivstation  
 Im städtischen Klinikum München-Bogenhausen  
 2001 - 2002 operative Assistenz in der orthopädischen Praxis Dr. Opitz/ Dr. Stahl,  
 München

### Sonstige Kenntnisse

EDV Anwendungsorientierte Datenverarbeitung unter Windows 98, ME, XP, 7  
 Sprachen gute Kenntnisse in Englisch und Französisch